Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 2970231
Centre d'intérêt: 874

Simard, Paul-Aimé.

Phénomènes électriques en soudage / Paul-Aimé Simard, Richard Parent, Hélène Hensler [pour l'Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation]. -- 2e éd. rev. et corr. -- [Sherbrooke] : Editions du CRP, [1989?-1989?]. 5 v. (43 ; 44 ; 51 ; 39 ; 52 p.) : ill. ; 26 cm. -- (Concepts scientifiques de base)Dépouillement: v. 1. Le courant électrique -- v. 2. Le circuit électrique -- v. 3. Les sources de courant -- v. 4. L'arc électrique -- v. 5. Les conducteurs électriques.

ISBN 2-920859-21-8

ISBN 2-920859-22-6

ISBN 2-920859-25-0

ISBN 2-920859-26-9

ISBN 2-920859-27-7

Vedette(s)-secondaire(s): Parent, Richard • Hensler, Hélène • Université de Sherbrooke. Faculté d'éducation

Descripteur(s): Techniques physiques • Formation professionnelle • Manuel scolaire • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Soudage • Electricité

Le manuel a été rédigé à l'intention des élèves en soudage du secondaire professionnel. Il aborde le domaine de l'électricité et expose des notions qui peuvent aider l'élève à mieux comprendre certains gestes qu'il exécute ou certains phénomènes qui se produisent lorsqu'il soude à l'arc électrique. Le manuel traite de cinq grands thèmes: 1. le courant électrique; 2. le circuit électrique; 3. les sources du courant électrique; 4. l'arc électrique; 5. les conducteurs électriques. Dans le but d'aider l'élève à mieux aborder chacun de ces cinq thèmes, on met à sa disposition, au début de chaque thème, des fiches d'information qui indiquent les problèmes abordés dans le thème, les objectifs généraux et spécifiques visés, la démarche à suivre et le contenu du thème divisé en modules de divers types. La plupart des modules se terminent par une série de questions-synthèses. Cette évaluation préliminaire permet à l'élève de vérifier au fur et à mesure son degré de compréhension de la matière.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8779569

EDUQ
8970231-A

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

1er cahier — Le courant électrique

2e édition

Paul-Aimé Simard
Richard Parent
Hélène Hensler

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ÉDITIONS DU CRP

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

1er cahier — Le courant électrique

Paul-Aimé Simard,
Professeur au département de Physique
de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke

Richard Parent,
Ingénieur en mécanique et chercheur
à l'Université de Sherbrooke

Hélène Hensler,
Professeure au département de Pédagogie
de la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
Programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke

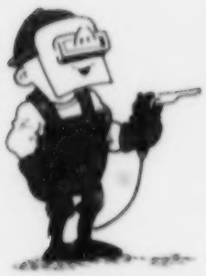
ISBN 2-920859-21-8

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 3e trimestre 1988
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

LE COURANT ÉLECTRIQUE



- Fiche d'information 4
- Module d'introduction 5
- Module d'acquisition 1 9
  La tension et l'intensité du courant électrique
- Module d'acquisition 2 14
  Le courant continu
- Module d'acquisition 3 20
  Le courant alternatif
- Module de prolongement 27
  La fréquence
- Fiche de synthèse 30
- Fiche d'évaluation 32
- Module de complément 34
- Module d'exercices 37

FICHE D'INFORMATION

Problèmes abordés

Certaines questions peuvent te venir à l'esprit lorsque tu utilises de l'électricité. Les réponses à ces questions pourraient t'aider à mieux comprendre et, peut-être même, à résoudre certains problèmes pouvant se présenter dans un circuit de soudage. Voici à titre d'exemples deux de ces questions.

Lorsque tu soudes, il t'arrive de modifier le nombre de volts et le nombre d'ampères qui caractérisent ton arc. Quelle est la différence entre la tension et l'intensité d'un courant électrique ?

Lorsque tu utilises le courant alternatif pour effectuer une soudure à l'arc, tu n'as pas à te préoccuper des polarités de chaque borne alors que tu dois en tenir compte lorsque tu utilises le courant continu. Qu'est-ce qui explique cette différence ?

Objectifs visés

OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de ce cahier est de distinguer les deux types de courant électrique et de reconnaître les principales caractéristiques s'y rattachant.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Reconnaître trois éléments de base d'un circuit électrique.
- Nommer trois effets importants de l'utilisation de l'électricité.
- Définir la notion de tension et reconnaître son effet sur les charges électriques.
- Définir la notion d'intensité du courant.
- Énumérer les principales caractéristiques du mouvement qu'effectuent les charges électriques dans un circuit électrique continu et alternatif.
- Identifier le sens conventionnel du courant entre les pôles d'un circuit électrique.
- Reconnaître la définition de la fréquence.
- Décrire les conditions d'établissement d'un court-circuit et identifier les conséquences qui en découlent.
- Définir la notion de mise à la terre.

MODULE D'INTRODUCTION

L'électricité : c'est important !

L'électricité ... oui, c'est un mot que tu as souvent entendu autour de toi. Tu l'as même sûrement déjà prononcé dans des circonstances très diverses.

La plupart des gens utilisent l'électricité dans leur vie quotidienne. Mais lorsqu'il y a une panne, tout semble s'arrêter autour d'eux. L'éclairage, le chauffage ainsi que divers appareils comme le réfrigérateur et la télévision ne fonctionnent plus. On dit alors : « Il n'y a plus d'électricité ! » Mais qu'est-ce que l'électricité ? Pourquoi y a-t-il une panne ? On répond parfois : « Une automobile a frappé un poteau et les fils ont cassé » ou « Un éclair est tombé sur un pylône et les fils se sont brisés ». Ces réponses peuvent être valables puisqu'il faut effectivement des fils pour faire circuler le **courant électrique**. Les fils électriques font le lien entre l'appareil du consommateur et la source de courant. Cette **source** agit comme une usine qui fabrique le courant à partir d'un barrage hydro-électrique.

Toi qui es consommateur, tu as besoin d'électricité pour faire fonctionner par exemple ton système de son et écouter de la musique. À l'école, tu as encore besoin d'électricité pour souder à l'arc électrique. Dans ta future carrière de soudeur, tu seras constamment en présence d'appareils fonctionnant à l'électricité.

Donc l'électricité, c'est important ! Nous désirons, à l'aide des prochains modules, améliorer ta compréhension concernant le courant électrique. Après t'avoir présenté ce que l'électricité peut t'apporter dans la vie quotidienne, nous aborderons les notions qui sont importantes pour ton domaine d'étude.

L'électricité : une source d'énergie

Il t'arrive parfois de te sentir en meilleure forme que d'habitude ? Tu as alors envie de faire quelque chose. Tu dois dépenser ton **énergie** par l'exécution d'un travail ou par la pratique d'un sport. C'est que l'énergie ne peut demeurer là, elle ne peut rester en place. Il faut la faire sortir, la dépenser d'une manière quelconque.

L'électricité est une forme d'énergie. Elle « coule » dans les fils électriques pour produire un effet à un certain endroit. Examine les dessins de la figure 1. Ils représentent trois effets possibles de l'électricité soit la lumière, le mouvement et la chaleur.

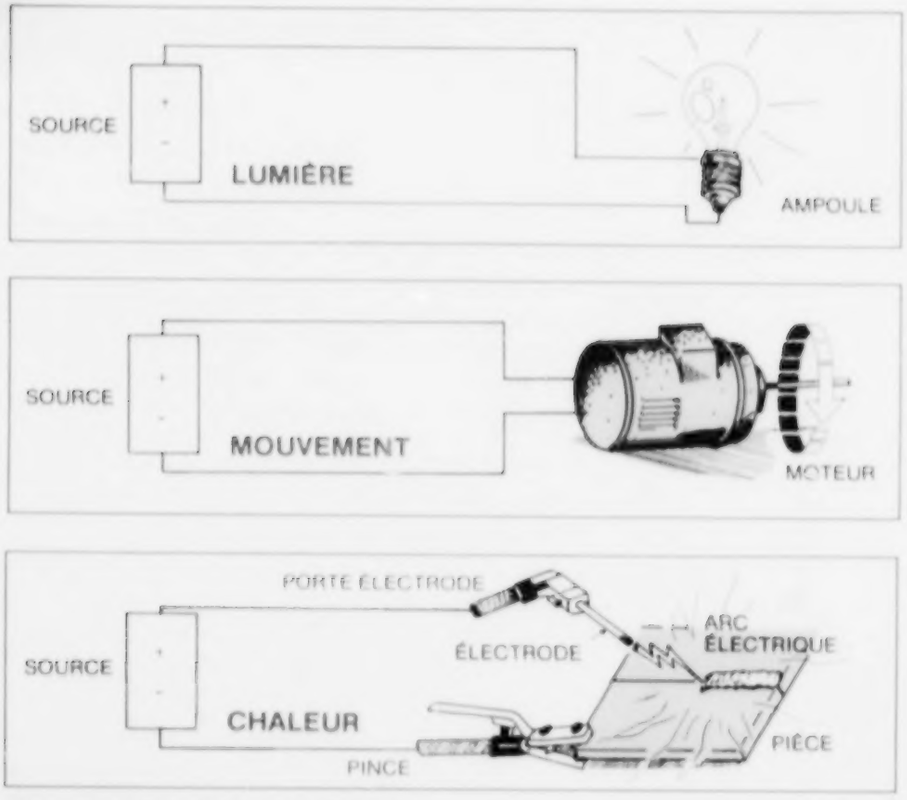


Figure 1 : Trois effets de l'électricité.

Un terme commun a été utilisé dans les trois dessins précédents. C'est le mot **source**. Cette source de courant électrique peut être une pile (batterie), une prise murale (courant du réseau) ou un poste de soudage (par exemple, une génératrice).

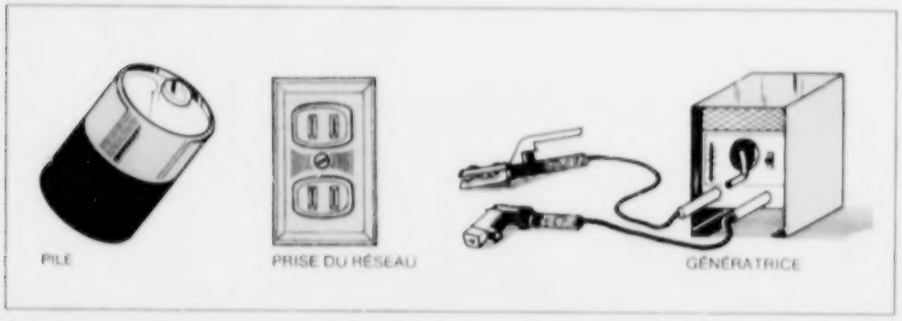


Figure 2 : Sources de courant électrique.

Une source a pour effet de pousser le courant électrique dans les fils. Le courant circule facilement dans les fils car ceux-ci sont en métal. À un certain endroit, il se trouve des appareils qui ont besoin d'électricité pour fonctionner tels une ampoule, un moteur ou l'équipement de soudage par l'arc électrique. L'énergie engendrée par la source est alors consommée. C'est le courant électrique qui a servi de moyen de transport pour cette énergie.

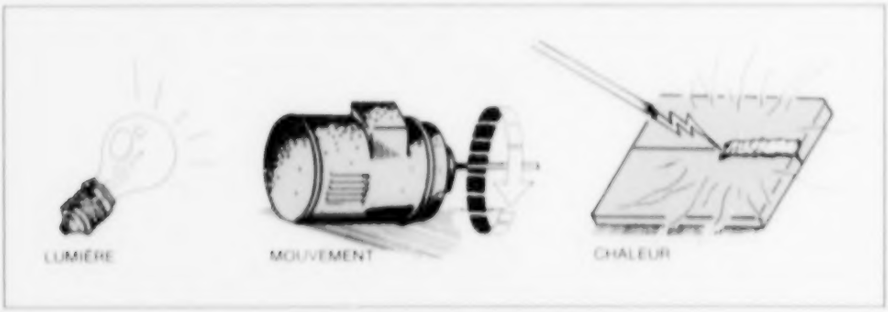


Figure 3 : Appareils nécessitant de l'énergie électrique.

Lorsque tu effectues une opération de soudage à l'arc, tu aperçois une « petite étincelle permanente » entre l'électrode et la pièce. On appelle cette « étincelle » **arc électrique**. Un arc est créé par le courant électrique qui traverse l'espace entre l'électrode et la pièce. Ce petit espace n'est pas propice pour le passage du courant électrique. Il y engendre une grande quantité de chaleur. Ceci permet alors la fusion du métal et par conséquent le soudage. De plus, l'arc produit beaucoup de lumière. Dans cet exemple, la chaleur et la lumière sont les effets générés par le courant électrique.

En résumé, si tu veux commencer à te faire une bonne idée de la nature du courant électrique, tu dois te rappeler les trois points suivants.

1. La **source** d'énergie est le point de départ du courant électrique. C'est elle qui fabrique « l'électricité ».
2. Le **fil** est l'élément intermédiaire entre la source et l'appareil. Il permet le transport du courant électrique.
3. **L'appareil** consomme l'énergie transportée par le courant électrique.

Pour t'aider à te rappeler ce qu'est l'électricité, en voici une définition.

L'électricité est une forme d'énergie qui circule dans un milieu conducteur, le plus souvent dans un fil électrique. Cette énergie peut avoir plusieurs effets comme créer de la lumière, du mouvement ou de la chaleur.

Cette définition devrait te faire réaliser ce qu'un courant électrique peut t'apporter dans la vie de tous les jours. Nous nous sommes limités ici à trois effets générés par l'électricité mais tu comprendras qu'il en existe d'autres. Par exemple, l'électricité peut servir à transporter le son dans une radio ou dans une sirène.

Nous t'invitons maintenant à aller plus loin dans ton apprentissage des notions d'électricité. Le prochain module décrit ce qu'est la tension ainsi que l'intensité du courant. Il pourra t'aider à mieux comprendre le comportement du courant électrique.

SAVAIS-TU QUE...

LES PREMIÈRES DÉMONSTRATIONS DE PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EURENT LIEU EN FRANCE AU 18e SIÈCLE. NOLLET ET DUFOY DÉMONTRÈRENT LES EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

LA TENSION ET L'INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE

Nous avons voulu, dans le module précédent, te donner une idée générale de ce qu'est l'électricité. Attardons-nous maintenant sur le courant électrique. Pour faciliter la compréhension de cette notion, nous utiliserons une comparaison entre un circuit électrique et une conduite d'eau.

Nous allons nous imaginer être assez petits pour pouvoir entrer à l'intérieur d'un tuyau de plomberie et de même à l'intérieur d'un fil électrique. Examinons le comportement du courant d'eau et du courant électrique.

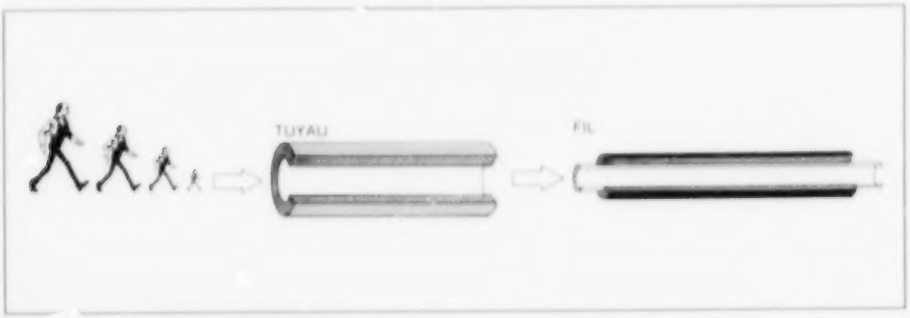


Figure 4 : Randonnée imaginaire à l'intérieur d'un tuyau et d'un fil.

La tension du courant

Retrouvons-nous dans le tuyau où circule de l'eau. Imagine le courant d'eau comme étant constitué de minuscules gouttes les unes derrière les autres. Faisons de même dans le fil électrique en imaginant une suite de « gouttes d'électricité ».

Retiens tout d'abord que ces « gouttes d'électricité » ont un nom. On les appelle **charges électriques**. Ce sont elles qui constituent le courant électrique tout comme les gouttes d'eau constituent le courant d'eau.

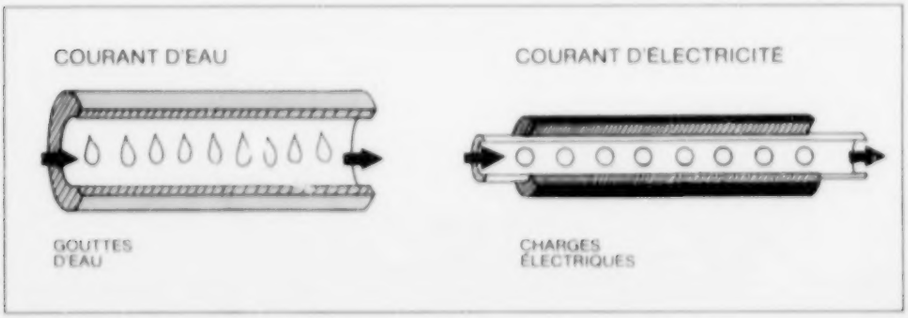


Figure 5 : Comparaison des deux courants.

Maintenant, sois bien attentif à ce qui suit car toute la compréhension du courant électrique découle des principes que nous allons t'exposer.

Pour que l'eau circule dans la tuyauterie, il faut qu'une force agisse sur celle-ci. Une source quelconque doit procurer un élan au courant d'eau pour lui permettre de circuler. Nous parlons ici de la **pression**.

On appelle la force qui agit sur un courant d'eau la *PRESSION*.

Nous retrouvons exactement le même principe en électricité. Il faut nécessairement l'existence d'une force pour créer le courant électrique. Cette force s'appelle la **tension***. La source d'électricité provoque cette tension et donne ainsi la poussée nécessaire au déplacement des charges électriques.

On appelle la force qui agit sur le courant électrique la *TENSION*.

En résumé, il faut que tu retiennes ces deux notions.

LA PRESSION ⟶ FORCE DE L'EAU

LA TENSION ⟶ FORCE DE L'ÉLECTRICITÉ

Maintenant, examine les dessins de la figure 6. Remarque la comparaison entre les gouttes d'eau et les charges électriques.

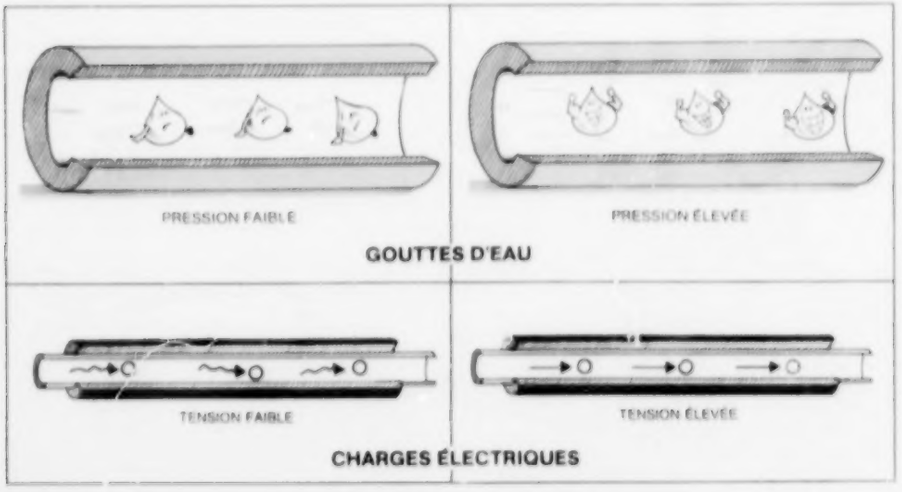


Figure 6 : Comparaison entre la pression et la tension.

* La tension du courant électrique est communément appelée le « voltage ».

Dans le schéma de gauche, la force qui pousse l'eau est faible (remarque les gouttes d'eau faibles). On dit que *la PRESSION EST FAIBLE*.

Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est faible, on dit que *la TENSION EST FAIBLE*.

Dans le schéma de droite, la force qui pousse l'eau est grande (remarque les gouttes d'eau fortes). On dit que *la PRESSION EST ÉLEVÉE*.

Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est grande, on dit que *la TENSION EST ÉLEVÉE*.

En résumé, la *TENSION* dans des fils électriques peut être comparée à la *PRESSION* dans des tuyaux de plomberie.

Pour voir si tu as bien retenu les explications que nous venons de te présenter, essaie de répondre à ces questions sans regarder les informations précédentes.

- *Comment appelle-t-on les « gouttes d'électricité » ?*
- *Dans le modèle que nous t'avons présenté, qu'est-ce qui est comparable entre la PRESSION du courant d'eau et la TENSION du courant électrique ?*

L'intensité du courant

Il y a une notion que tu utilises très souvent lorsque tu exécutes une opération de soudage à l'arc, c'est l'**intensité** du courant.*

Imagine encore une fois nos « gouttes d'électricité » (les charges électriques) dans un fil comparées aux gouttelettes d'eau dans un tuyau. Examinons notre courant d'eau dans la tuyauterie et essayons de compter la quantité d'eau qui passe à chaque seconde. Cette quantité mesurée s'appelle le **débit**. Il existe des appareils pouvant mesurer facilement cette quantité. Ce sont des débitmètres.

Le *DÉBIT* est la quantité de gouttes d'eau circulant dans la tuyauterie à chaque seconde.

Encore ici, nous retrouvons le même principe en électricité. La source envoie une quantité de charges dans le fil électrique. C'est la tension créée par cette source qui pousse les charges à circuler.

* L'intensité du courant électrique est communément appelée « l'ampérage ».

Dans le schéma de gauche, la force qui pousse l'eau est faible (remarque les gouttes d'eau faibles). On dit que *la PRESSION EST FAIBLE*.

Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est faible, on dit que *la TENSION EST FAIBLE*.

Dans le schéma de droite, la force qui pousse l'eau est grande (remarque les gouttes d'eau fortes). On dit que *la PRESSION EST ÉLEVÉE*.

Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est grande, on dit que *la TENSION EST ÉLEVÉE*.

En résumé, la *TENSION* dans des fils électriques peut être comparée à la *PRESSION* dans des tuyaux de plomberie.

Pour voir si tu as bien retenu les explications que nous venons de te présenter, essaie de répondre à ces questions sans regarder les informations précédentes.

- *Comment appelle-t-on les « gouttes d'électricité » ?*
- *Dans le modèle que nous t'avons présenté, qu'est-ce qui est comparable entre la PRESSION du courant d'eau et la TENSION du courant électrique ?*

L'intensité du courant

Il y a une notion que tu utilises très souvent lorsque tu exécutes une opération de soudage à l'arc, c'est l'**intensité** du courant.*

Imagine encore une fois nos « gouttes d'électricité » (les charges électriques) dans un fil comparées aux gouttelettes d'eau dans un tuyau. Examinons notre courant d'eau dans la tuyauterie et essayons de compter la quantité d'eau qui passe à chaque seconde. Cette quantité mesurée s'appelle le **débit**. Il existe des appareils pouvant mesurer facilement cette quantité. Ce sont des débitmètres.

Le *DÉBIT* est la quantité de gouttes d'eau circulant dans la tuyauterie à chaque seconde.

Encore ici, nous retrouvons le même principe en électricité. La source envoie une quantité de charges dans le fil électrique. C'est la tension créée par cette source qui pousse les charges à circuler.

* L'intensité du courant électrique est communément appelée « l'ampérage ».

L'*INTENSITÉ* du courant est la quantité de charges électriques circulant dans le fil à chaque seconde.

Remarque ici que nous ne parlons plus de la **force de l'eau ou du courant**, mais de la **quantité d'eau ou de courant**.

LE DÉBIT ⟶ *QUANTITÉ D'EAU*

L'INTENSITÉ ⟶ *QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ*

Les dessins de la figure suivante te permettront de mieux comprendre ce qu'est l'intensité du courant.

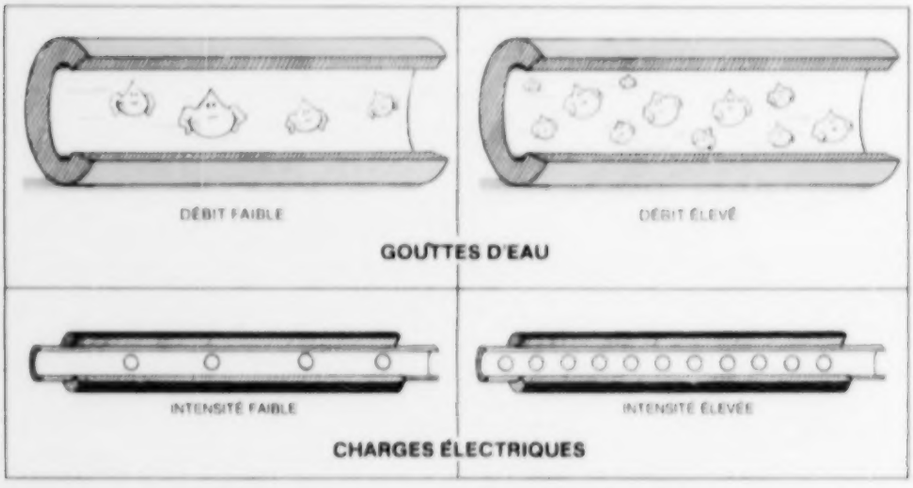


Figure 7 : Comparaison entre le débit et l'intensité du courant.

Dans le schéma de gauche, la quantité d'eau circulant dans le tuyau est petite (remarque les gouttes d'eau peu nombreuses). On dit que le *DÉBIT EST FAIBLE*.

Dans le fil électrique, si la quantité de charges électriques y circulant est petite, on dit que *L'INTENSITÉ DU COURANT EST FAIBLE*.

Dans le schéma de droite, la quantité d'eau circulant dans le tuyau est grande (remarque les gouttes d'eau beaucoup plus nombreuses). On dit que le *DÉBIT EST ÉLEVÉ*.

Dans le fil électrique, si la quantité de charges électriques y circulant est grande, on dit que *L'INTENSITÉ DU COURANT EST ÉLEVÉE*.

En résumé l'*INTENSITÉ* du courant électrique peut être comparée au *DÉBIT de l'eau*.

■ *As-tu bien compris la notion d'intensité de courant? Pour le savoir, dis-moi ce qui est comparable entre le débit d'eau et l'intensité du courant dans le modèle que nous t'avons présenté?*

Tu as pu remarquer dans les pages précédentes que nous avons associé la tension à la notion de pression et l'intensité du courant à la notion de débit. Nous espérons que cela a facilité ta compréhension.

Cependant, tu n'as vu que ce qui se produit dans un petit bout de fil électrique. Nous t'avons parlé d'une source qui crée la tension et par conséquent le courant. Cette source est évidemment présente dans le circuit électrique. Il serait utile ici de t'expliquer comment se comporte un circuit complet. L'étude de ce circuit te permettrait de cerner les différences entre un courant électrique continu et un courant électrique alternatif. Dans le but d'atteindre cet objectif, nous te proposons tout d'abord la lecture du module d'acquisition 2.

SAVAIS-TU QUE...

MÊME UN CHOC ÉLECTRIQUE FAIBLE PRODUIT UNE « ÉLECTRISATION » DES MEMBRES DU CORPS QUI PEUT ENTRAÎNER DES CONSÉQUENCES FÂCHEUSES. LES LÉGERS PICOTEMENTS CAUSÉS PAR LE CHOC PEUVENT PERTURBER LES RÉFLEXES ET PROVOQUER DES GESTES MALHABILES OU DES CHUTES.

LE COURANT CONTINU

Deux types de courant

Tu as pu voir jusqu'à maintenant les deux principales caractéristiques d'un courant électrique. La tension et l'intensité du courant expriment la force et la quantité de courant qui sont fournies à un appareil électrique.

Cependant, tu sais déjà par expérience qu'il existe deux types de courant, soit le courant continu (cc) et le courant alternatif (ca). Tu auras l'occasion de voir dans les prochaines pages la différence entre ces deux types de courant en utilisant les notions que nous t'avons déjà présentées.

Le courant continu

Examinons tout d'abord dans ce module le principe du courant continu. Pour ce faire, rappelons-nous ce qui a été dit au sujet d'un circuit électrique.

Dans tout circuit électrique, il y a premièrement, une **source** d'énergie, deuxièmement un **milieu conducteur** et, troisièmement un « quelque chose » qui a besoin d'énergie pour fonctionner qu'on appellera « **appareil** ». Par exemple, la lampe qui te fournit de la lumière est un *appareil* qui a besoin d'énergie pour fonctionner. Cette énergie provient du courant électrique qui part de la prise murale (c'est la source) et qui voyage tout le long du fil électrique (c'est le milieu conducteur).

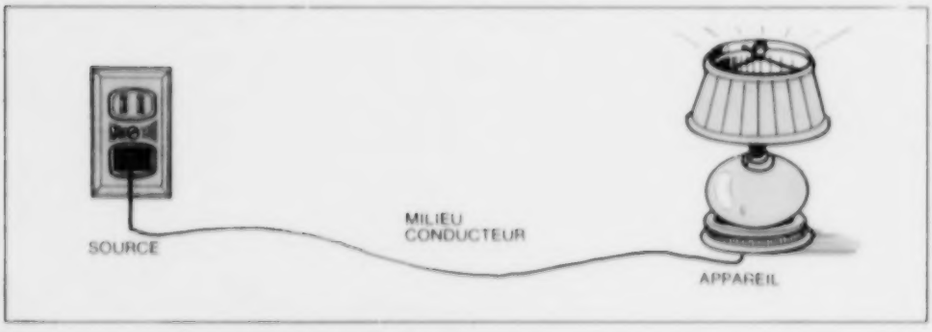


Figure 8 : Exemple de circuit électrique.

Il est possible de visualiser le comportement d'un courant électrique continu en observant un circuit électrique complet. Prenons donc un appareil électrique qui a besoin d'énergie pour fonctionner, soit un MOTEUR. Celui-ci reçoit l'électricité d'une batterie par l'entremise de fils électriques.

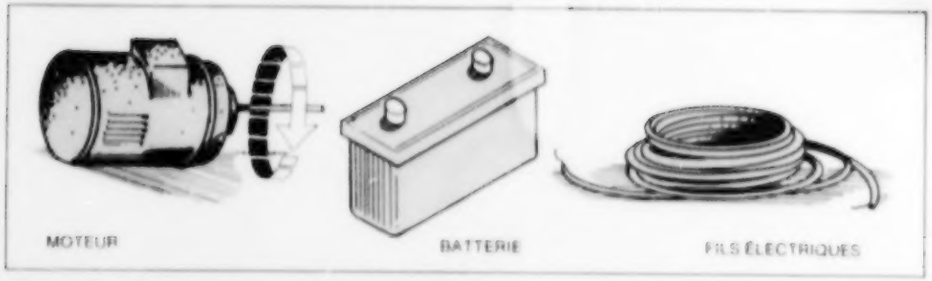


Figure 9 : Éléments du circuit électrique.

Comparons ce circuit électrique à un circuit d'eau. Par exemple, choisissons une TURBINE qui tourne sous l'action d'un courant d'eau. Ce courant d'eau est produit par une pompe.

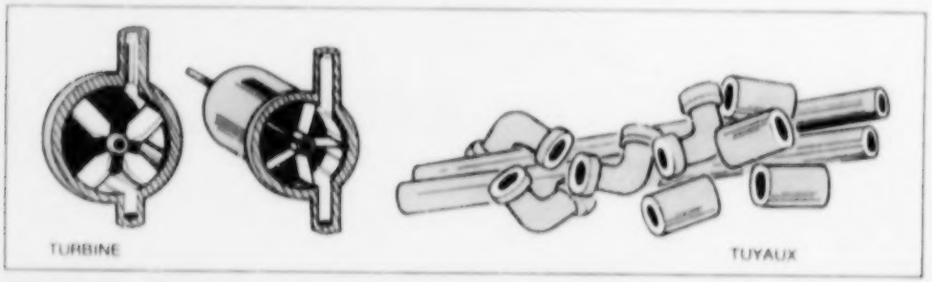


Figure 10 : Éléments du circuit d'eau.

SAVAIS-TU QUE...

LA PREMIÈRE SOURCE CONTINUE DE COURANT ÉLECTRIQUE, LA PILE VOLTAÏQUE, FUT MISE AU POINT PAR ALESSANDRO VOLTA EN 1800. C'EST D'AILLEURS LUI QUI A DONNÉ SON NOM AU « VOLT », UNITÉ DE TENSION ÉLECTRIQUE.

Maintenant, examine bien les schémas des figures 11 et 12 et compare les explications relatives à ces deux figures. Nous te présentons un circuit en **courant continu** dans une conduite d'eau et dans un fil électrique.

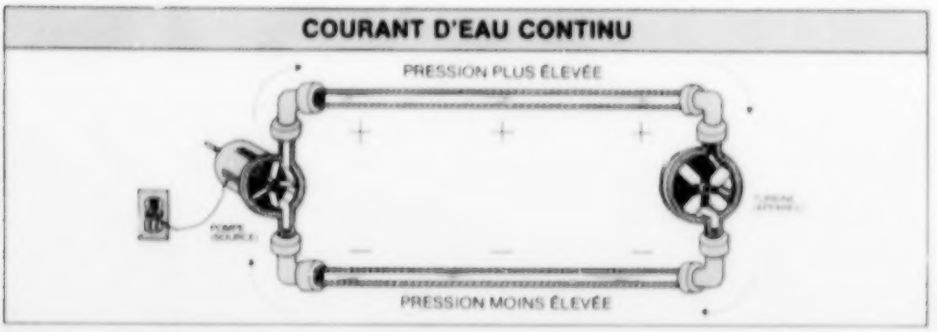


Figure 11 : Courant continu dans un circuit d'eau.

Ici, la source d'énergie, c'est une **pompe**. Elle pousse l'eau vers la partie du tuyau qu'on voit en haut du schéma. Il y a donc une pression plus élevée à cet endroit. L'eau perd sa pression en faisant tourner l'appareil qui est une **turbine**. Il y a donc par la suite une pression moins élevée dans la partie du tuyau qu'on voit en bas du schéma.

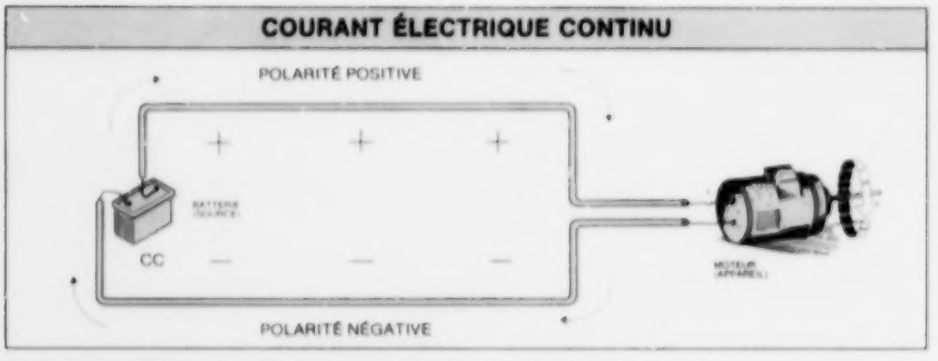


Figure 12 : Courant continu dans un circuit électrique.

Ici, la source d'énergie, c'est une *batterie*. Elle pousse le courant électrique vers le fil du haut. Il y a donc une tension plus élevée à cet endroit. Le courant perd de sa tension en faisant tourner l'appareil qui est un **moteur**. Il y a donc par la suite une tension moins élevée dans le fil qu'on voit en bas du schéma.

Tu remarques que le courant électrique sort d'un côté de la batterie et entre par l'autre côté. **La quantité de courant est donc conservée**.

Cependant, même si cette quantité ne change pas, il y a une caractéristique du courant qui change. C'est la **tension**. En effet, le moteur, pour pouvoir tourner, doit recevoir de l'énergie. C'est pourquoi, à la sortie de ce moteur, la force du courant est plus faible. C'est également pourquoi l'on enregistre de chaque côté d'un appareil électrique une différence de tension. On utilise parfois l'expression **différence de potentiel** pour exprimer la même idée.

Un phénomène semblable se produit dans le circuit d'eau que nous t'avons déjà présenté. La pression de l'eau est beaucoup plus faible à la sortie de la turbine car celle-ci a dû « voler » de l'énergie au courant d'eau pour pouvoir tourner.

Avec cette constatation, tu dois être capable d'expliquer pourquoi une batterie se décharge. Est-ce qu'elle ne génère plus de tension ou est-ce qu'elle a tout perdu son courant? Discutes-en avec tes amis ou avec ton professeur.

La polarité

Examine à nouveau les deux schémas précédents. Tu remarques qu'une nouvelle notion a été introduite, soit la **polarité**. Des signes « + » ont été placés dans la section précédant la turbine ou le moteur. Ceci indique le niveau élevé d'énergie. Puis des signes « — » ont été ajoutés dans la partie suivant la turbine ou le moteur. Ceci représente le niveau d'énergie devenu plus faible à la sortie de l'appareil.

Dans un circuit électrique, on appellera toujours borne de polarité **positive** la borne où la tension sera la **plus élevée** et borne **négative** celle où la tension sera la **moins élevée**. C'est cette polarité qui nous aidera à indiquer le sens du courant.

En effet, tu as peut-être observé que le sens du courant est réglé justement par cette tension plus élevée qui pousse les charges électriques.

Le sens conventionnel du courant est de la *BORNE POSITIVE* à la *BORNE NÉGATIVE*.

Ce sens d'écoulement du courant est très important dans toutes les réalisations de soudage que tu fais. Selon les travaux exécutés en atelier, tu peux choisir le sens de courant qui est le plus avantageux. Tu auras donc les deux possibilités suivantes : polarité inverse et polarité normale.

Il faut ici que tu fasses très attention aux termes se rapportant à la polarité. Une polarité est une caractéristique d'un point précis. À tel endroit, nous avons une polarité positive et à tel autre, une polarité négative. La polarité est donc **soit positive soit négative**.

L'expression polarité inverse et normale est devenue populaire dans les milieux du soudage pour indiquer le **sens** du courant. Cette expression indique si le courant passe de l'électrode à la pièce ou de la pièce à l'électrode.

La signification des expressions « polarité inverse » et « normale » sera la suivante.

POLARITÉ INVERSE (ou REVERSE)

L'électrode est la borne positive (polarité positive).
La pièce est la borne négative (polarité négative).
Le courant passera donc de l'électrode à la pièce.

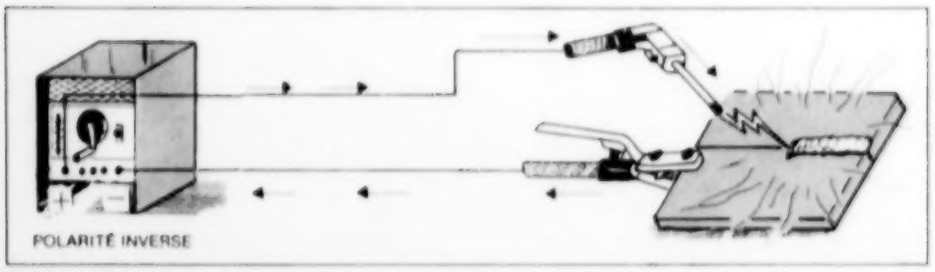


Figure 13 : Montage du circuit de soudage en polarité inverse.

POLARITÉ NORMALE (ou STRAIGHT)

L'électrode est la borne négative (polarité négative).
La pièce est la borne positive (polarité positive).
Le courant passera donc de la pièce à l'électrode.

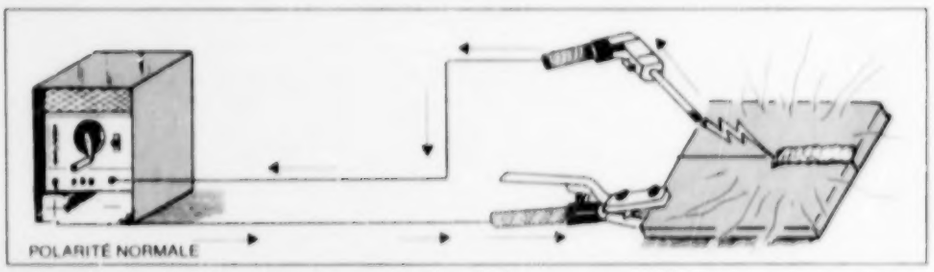


Figure 14 : Montage du circuit de soudage en polarité normale.

Tu vois d'après la figure 13 que le courant ne circule que dans un seul sens. Le même phénomène est observé dans la figure 14 avec un courant dans le sens contraire. C'est une caractéristique importante du **courant continu**.

En résumé, un *COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU* transporte les charges électriques en les faisant circuler dans un seul sens de façon continue jusqu'à l'appareil qui attend l'énergie.

Nous avons vu que le courant électrique perd une partie de son énergie en passant dans un appareil. Il poursuit ensuite son chemin et retourne vers la source. Cette dernière lui fournit alors un nouvel élan et la même opération recommence. Le courant continu reprend donc sans cesse le même cycle et cela **toujours dans le même sens**.

Avant de passer à la lecture du module sur le courant alternatif, essaie de répondre aux questions-synthèses suivantes. Tu pourras ainsi vérifier si tu as bien retenu les notions rattachées au courant continu.

- *Nomme les éléments utilisés dans la comparaison entre un courant d'eau et un courant électrique.*

COURANT D'EAU CONTINU	*COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU*
La source d'énergie est [redacted].	*La source d'énergie est* [redacted].
Le milieu conducteur est [redacted].	*Le milieu conducteur est* [redacted].
L'appareil qui consomme l'énergie est [redacted].	*L'appareil qui consomme l'énergie est* [redacted].

- *Pourquoi la tension est-elle plus faible à la sortie d'un appareil électrique ?*
  [redacted]

- *Dans un circuit électrique, la borne ayant la tension la plus élevée se voit attribuer la polarité* [redacted] *et la borne ayant la tension la moins élevée obtient la polarité* [redacted].

- *Le sens conventionnel du courant est du* [redacted] *au* [redacted].

- *Lorsque tu utilises le courant continu pour souder à l'arc, tu as deux options dans le choix du sens de circulation de ce courant : soit en polarité* [redacted] *(le courant va de l'électrode à la pièce), soit en polarité* [redacted] *(le courant va de la pièce à l'électrode).*

Maintenant que tu as répondu à ces questions, il est temps d'aborder le principe du courant alternatif. Quelles sont les différences par rapport au courant continu et comment faire pour visualiser ces différences ? C'est ce que tu auras l'occasion d'apprendre dans le prochain module.

MODULE D'ACQUISITION 3

LE COURANT ALTERNATIF

Un comportement différent !

Maintenant que tu sais de quelle façon se comporte un courant électrique continu, étudions ensemble les caractéristiques du courant alternatif. Pour mieux t'aider à comprendre ce type de courant, une comparaison entre un circuit électrique et une tuyauterie d'eau serait encore utile. C'est pourquoi un nouveau circuit d'eau t'est proposé.

Le courant d'eau alternatif

Examine le montage illustré à la figure 15. Il comporte de nouveaux éléments soit des pistons, une bielle et une roue. Porte ton attention sur ces éléments.

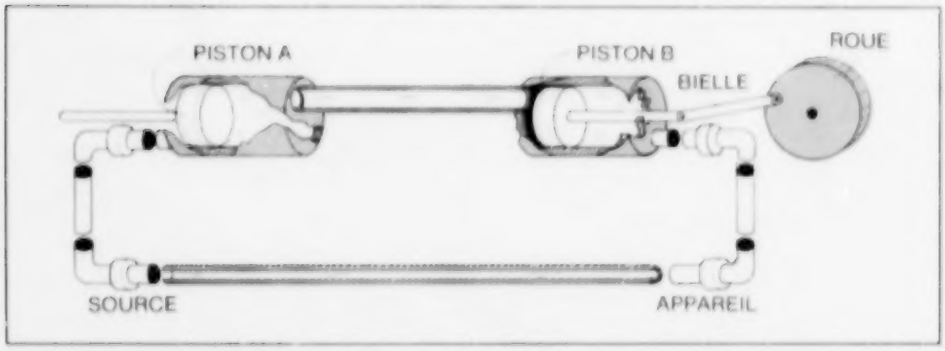


Figure 15 : Montage du circuit d'eau.

Comme tu peux le constater, nous avons remplacé la pompe par un piston (le piston A). Ce piston est la **source** d'énergie. Il pousse l'eau dans les tuyaux tout comme la pompe le faisait dans le circuit d'eau en courant continu. À l'autre extrémité, nous avons remplacé la turbine par une roue actionnée par un second piston (le piston B) au moyen d'une bielle. Cet ensemble est **l'appareil** qui attend l'énergie. Nous voulons faire tourner la roue tout comme la turbine de notre circuit en courant continu.

Maintenant poussons sur notre piston A pour le faire bouger de gauche à droite et regardons le résultat sur la roue.

Le piston A agit sur l'eau, la pousse vers la droite, ce qui provoque une pression sur le piston B. Entraîné par le mouvement de l'eau, ce piston agit à son tour sur la roue par l'intermédiaire de la bielle. Cette roue effectue alors une rotation d'un demi-tour.

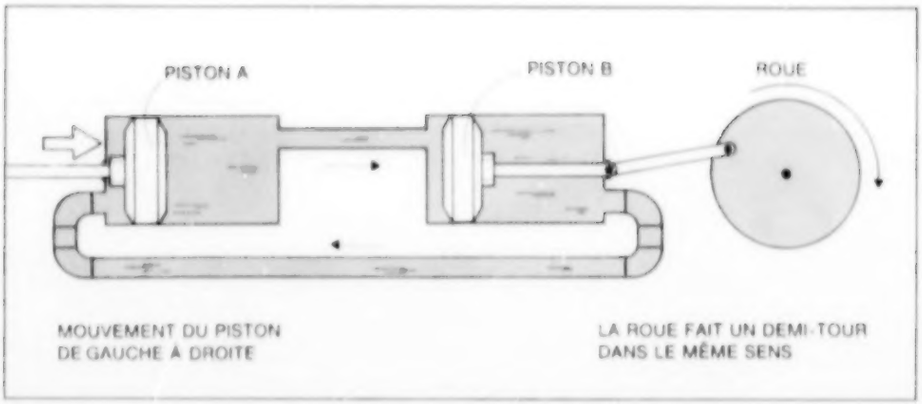


Figure 16 : Première étape du mouvement alternatif.

Tu vois bien que la roue tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans quel sens penses-tu que cette roue tournera si nous tirons sur notre piston A, c'est-à-dire si nous le déplaçons de droite à gauche ? Examine bien le dessin ci-dessous et observe le mouvement de l'eau ainsi que le résultat apporté au niveau de la roue.

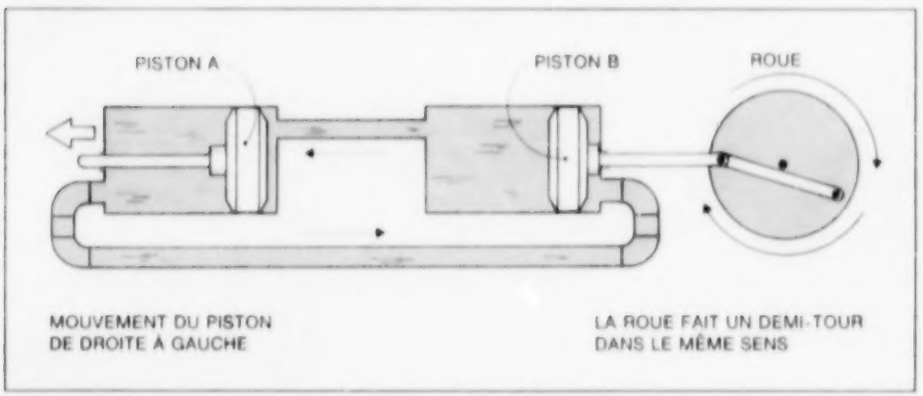


Figure 17 : Deuxième étape du mouvement alternatif.

Tu constates que la roue tourne encore dans le sens des aiguilles d'une montre. Elle conserve donc le même sens de rotation qu'auparavant. Que penses-tu qu'il adviendra si tu actionnes le piston de gauche à droite puis de droite à gauche sans arrêt ? La roue tournera-t-elle toujours dans le même sens ?

Si tu penses que oui, tu as raison ! La roue tournera de façon continue dans le sens des aiguilles d'une montre sur notre schéma. Notre système ressemble en fait aux anciennes locomotives. Le piston était alors entraîné par l'action de la vapeur.

Le courant électrique alternatif

La compréhension du montage illustré ci-avant permet d'aborder plus aisément la notion de courant électrique alternatif. Imagine-toi au centre du tuyau d'eau. Tu peux alors observer l'alternance très rapide du mouvement de l'eau. Elle s'écoule dans un sens puis dans l'autre et ainsi de suite.

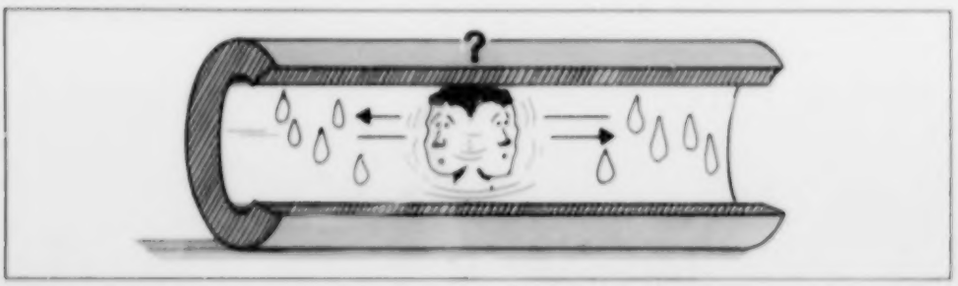


Figure 18 : Alternance rapide dans le mouvement de l'eau.

Établissons une comparaison entre ce mouvement de l'eau et le mouvement des charges électriques dans un circuit électrique. Les deux figures qui suivent pourront t'aider à visualiser cette comparaison.

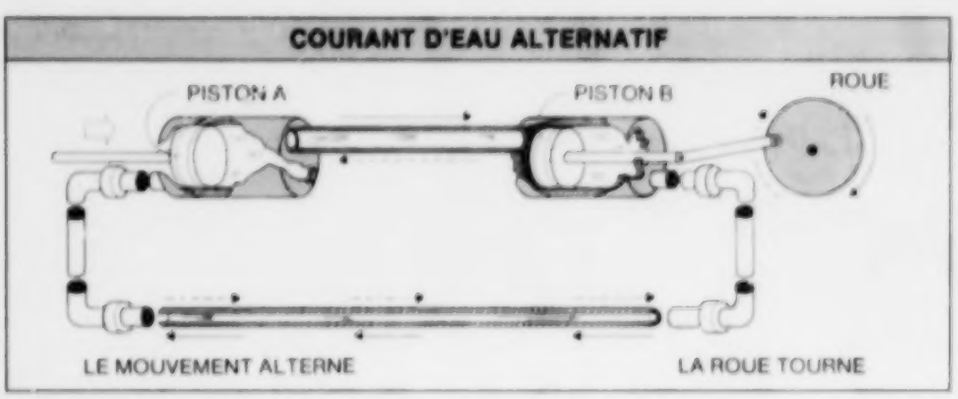


Figure 19 : Courant alternatif dans un circuit d'eau.

1re ÉTAPE: (⟶) GAUCHE À DROITE	résultat: ROTATION DANS
2e ÉTAPE: (⟵) DROITE À GAUCHE	UN SEUL SENS

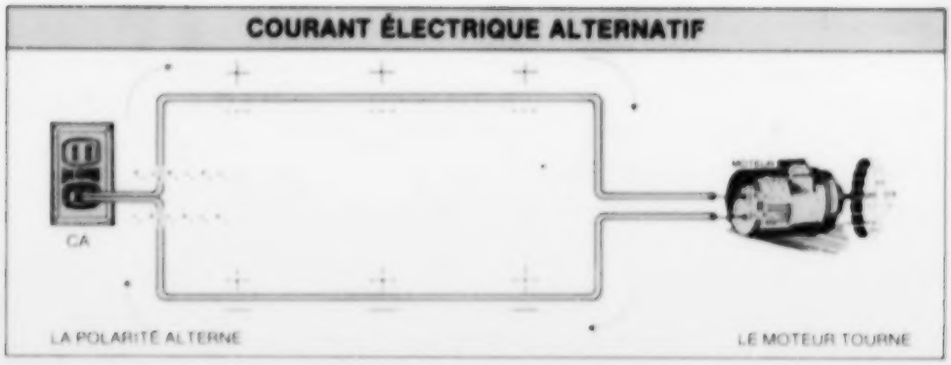


Figure 20 : Courant alternatif dans un circuit électrique.

1re ÉTAPE : (±) POSITIF EN HAUT	**résultat : ROTATION DANS**
2e ÉTAPE : (∓) POSITIF EN BAS	**UN SEUL SENS**

Tout en examinant ces figures, lis les remarques suivantes et essaie de comprendre les différentes comparaisons.

Si le piston A va de gauche à droite, l'eau est poussée dans le tuyau du haut; donc LA PRESSION EST PLUS ÉLEVÉE EN HAUT.

Le résultat est que la roue fait un demi-tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si le piston va de droite à gauche, l'eau est poussée dans le tuyau du bas; donc LA PRESSION EST PLUS ÉLEVÉE EN BAS.

Le résultat est que la roue fait un autre demi-tour mais toujours dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si la source a la polarité positive en haut, le courant est poussé vers le fil du haut; donc LA TENSION EST PLUS ÉLEVÉE EN HAUT.

Le résultat est que le moteur fait un demi-tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si la source a la polarité positive en bas, le courant est poussé vers le fil du bas; donc LA TENSION EST PLUS ÉLEVÉE EN BAS.

Le résultat est que le moteur fait un autre demi-tour mais toujours dans le sens des aiguilles d'une montre.

La polarité

Encore ici, les polarités entrent en jeu. Rappelle-toi que la borne possédant la tension la plus élevée obtient la **polarité positive** et la borne possédant la tension la moins élevée obtient la **polarité négative**.

Comme la pression d'eau dans le circuit est élevée en haut, puis élevée en bas, de façon alternative dans la tuyauterie d'eau, nous nous devons d'avoir un phénomène similaire dans le circuit électrique. C'est pourquoi nous avons une alternance dans les polarités. Remarque dans le schéma les signes +, −, +, − inscrits sur chaque borne de la source CA. Cette dernière provoque donc un changement de polarité tout comme le piston provoque un changement de direction du courant d'eau.

Rappelle-toi que le courant électrique **circule toujours du positif au négatif**. Ainsi, au moment où la source CA présente une polarité positive en haut, le courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre. Dès que cette même machine inverse les polarités et présente une polarité positive en bas, le courant circule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Ce qu'il faut retenir !

Finalement, quel que soit le sens de circulation du courant, retiens que le mouvement créé dans le moteur est ininterrompu. Ceci nous fait étrangement penser au mouvement créé dans le circuit en courant continu.

SOURCE		*MILIEU CONDUCTEUR*		*APPAREIL*
COURANT CONTINU	→	MOUVEMENT DANS UN SEUL SENS	→	ROTATION DANS UN SEUL SENS
COURANT ALTERNATIF	→	MOUVEMENT DANS LES DEUX SENS	→	ROTATION DANS UN SEUL SENS

En résumé, le courant alternatif peut se définir comme suit.

Un *COURANT ALTERNATIF* **est un courant qui circule tour à tour dans les deux sens du circuit avec une alternance excessivement rapide. Il apporte au système qui attend l'énergie le même résultat que le courant continu.**

Tu vois que le courant alternatif se comporte de façon différente par rapport au courant continu. Cependant, le résultat final est le même. Nous avons utilisé dans notre comparaison un des effets de l'électricité, soit le mouvement. Il est évident que le principe est le même pour les autres utilisations de l'électricité comme la lumière pour éclairer ou la chaleur pour souder.

L'énergie électrique, qu'elle soit véhiculée par du courant continu ou alternatif, peut apporter les mêmes résultats. Une lampe de poche fonctionne au courant continu (piles) et fournit de la lumière. De la même façon, une lampe de salon fonctionne au courant alternatif (prise du secteur) et fournit également de la lumière.

Figure 21 : Effet de lumière généré par les deux types de courant.

Il y a évidemment plusieurs différences entre les deux types de courant puisque tu utilises l'un ou l'autre selon certaines applications. Ton expérience à l'atelier te permettra de cerner ces différentes possibilités. L'objectif de ce module était de te faire visualiser le *mouvement* du courant alternatif et de bien comprendre les différences par rapport au *mouvement* du courant continu. De façon à vérifier si tu as atteint cet objectif, essaie de répondre aux questions-synthèses.

■ *Nomme les éléments utilisés dans la comparaison entre un courant d'eau et un courant électrique.*

COURANT D'EAU ALTERNATIF	*COURANT ÉLECTRIQUE ALTERNATIF*
La source d'énergie est [redacted]	*La source d'énergie est* [redacted]
Le milieu conducteur est [redacted]	*Le milieu conducteur est* [redacted]
L'appareil qui consomme l'énergie est [redacted]	*L'appareil qui consomme l'énergie est* [redacted]

■ *Suite au mouvement alternatif du piston dans le montage du circuit d'eau, quelle est la conséquence sur le sens de rotation de la roue ?* [redacted]

- *Pourquoi le sens du courant est-il alterné dans le circuit électrique tout comme le mouvement du piston est alterné dans le circuit d'eau ?* [redacted]
- *Pourquoi n'as-tu pas de choix de polarités à faire en courant alternatif tout comme tu avais à le faire en courant continu (polarité inverse ou normale) ?* [redacted]

Voilà ce que nous avions à te dire à propos du courant alternatif. Cette fameuse alternance dans le mouvement des charges électriques se produit de façon très rapide. Ainsi, le phénomène est différent de celui en courant continu qui ne présente qu'un seul sens de circulation soit d'une borne à l'autre.

Ce mouvement particulier des charges donne lieu à une nouvelle notion, la fréquence. Le module suivant te permet d'aborder cette notion.

SAVAIS-TU QUE...

LE RISQUE DE CHOC ÉLECTRIQUE AUGMENTE
LORSQUE LA TEMPÉRATURE ET L'HUMIDITÉ DE L'AIR S'ÉLÈVENT.
LORSQUE LA PEAU DU SOUDEUR EST MOITE.
LORSQUE SES VÊTEMENTS SONT MOUILLÉS OU
LORSQUE LE SOL EST HUMIDE

LA FRÉQUENCE

As-tu déjà entendu le terme « fréquence » dans ton atelier de travail ? C'est un mot qui se rapporte au courant électrique alternatif seulement. Pourquoi cela ?

Nous avons vu dans le module précédent comment se comporte un courant alternatif. Il se produit une alternance dans la circulation des charges, c'est-à-dire que le courant change de sens continuellement. Assure-toi de bien comprendre ce principe avant d'aborder la notion de fréquence.

La fréquence du courant d'eau

Nous allons prendre un exemple pour que tu comprennes bien ce que nous entendons par fréquence. Revenons à notre conduite d'eau avec le piston. Dans ce montage, le piston se déplace dans un sens puis dans l'autre pour ainsi créer un courant d'eau alternatif. Voyons comment la notion de fréquence peut être insérée dans cet exemple.

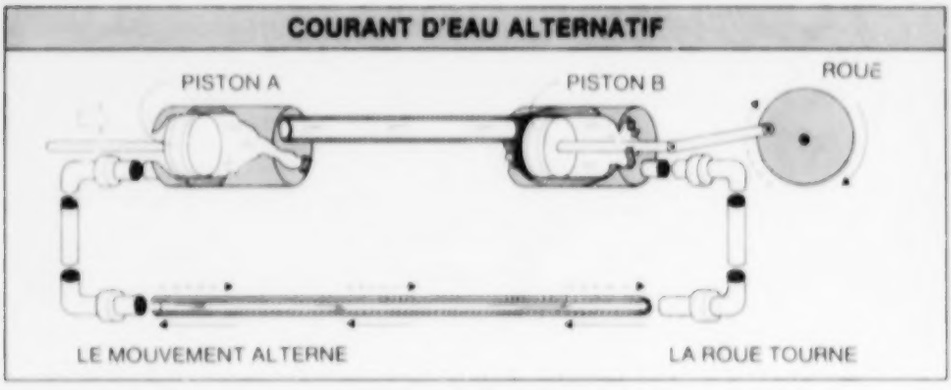


Figure 22 : Courant alternatif dans un circuit d'eau.

Dans le schéma précédent, imaginons que le piston s'est déplacé de gauche à droite, puis de droite à gauche, c'est-à-dire qu'il est revenu à son point de départ. On dit qu'il a effectué un **cycle complet**. La fréquence du mouvement est le nombre de cycles effectués par le piston chaque seconde.

> Si, par exemple, le déplacement que nous venons de décrire a duré 1 seconde, on dit qu'il a effectué 1 cycle en 1 seconde. La fréquence est donc de 1 cycle par seconde.

Maintenant qu'en est-il en ce qui concerne le circuit électrique ?

La fréquence du courant électrique

Le principe est exactement le même pour un courant d'électricité. La source de courant présente une alternance dans ses polarités tout comme le piston présente une alternance dans son mouvement. Cette source provoquera donc également un cycle dans son changement de polarité.

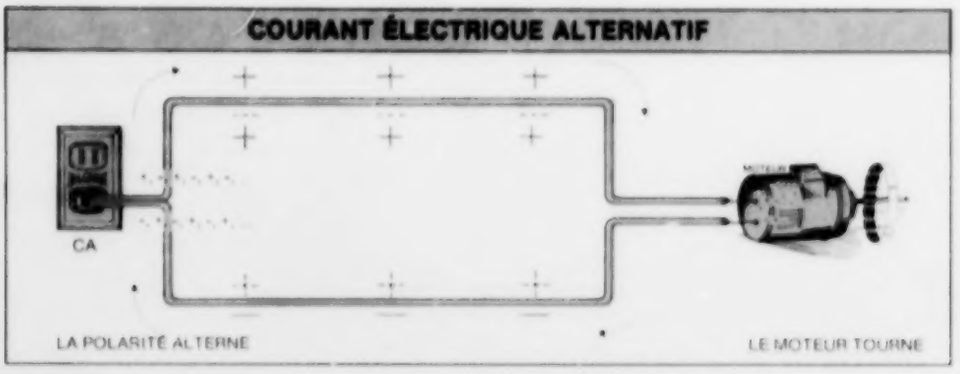


Figure 23 : Courant alternatif dans un circuit électrique.

> Si la polarité de la borne supérieure de la prise CA passe de positive à négative puis redevient positive, c'est-à-dire si elle revient à sa polarité de départ, on dit qu'elle a effectué un cycle complet. Si, par exemple, ce changement a duré 1 seconde ; on dit qu'il y a eu 1 cycle par seconde. Ici encore, la fréquence est de 1 cycle par seconde.

Nous avons choisi un exemple de 1 seconde pour faciliter ta compréhension. L'appareil fait un cycle en 1 seconde, c'est-à-dire change de position puis revient à sa position de départ et cela en 1 seconde. Cependant, si nous ralentissons ou accélérons le mouvement d'alternance du piston ou de la source CA, le temps requis pour faire un cycle sera différent. C'est donc dire que la fréquence est variable selon le mouvement d'alternance de l'appareil.

> Par exemple, si la fréquence est de 10 cycles par seconde, la machine CA changera de polarité (+ à −) puis reviendra à sa polarité de départ (− à +) tout cela 10 fois en 1 seconde. C'est très rapide, n'est-ce pas ?

Le changement de polarité peut se produire de façon plus rapide encore car le courant alternatif d'une prise murale branchée au secteur possède une fréquence de 60 cycles par seconde. C'est avec un courant alternatif de ce type que tu exécutes tes opérations de soudage.

Le courant électrique alternatif habituellement utilisé possède une fréquence de 60 cycles par seconde.* En d'autres mots, la polarité passe du positif au négatif puis revient au positif tout cela 60 fois par seconde.

Si nous voulons comparer ce cas à ce qui se produit dans notre tuyauterie d'eau, nous constatons qu'il s'agit d'un mouvement extrêmement rapide. En effet, le piston doit se déplacer de gauche à droite puis revenir de droite à gauche 60 fois par seconde. L'alternance est tellement rapide qu'elle est invisible à l'oeil nu. C'est ce qui se produit en réalité dans un courant électrique alternatif. L'alternance des polarités aux bornes est presque impossible à déceler tellement elle se fait rapidement.

Maintenant, comprends-tu pourquoi le terme fréquence s'applique seulement au courant alternatif? Comprends-tu le principe de la fréquence?

Pour vérifier cela, essaie de répondre à la question suivante. Réfléchis bien en la lisant.

■ *Il y a deux changements de polarité dans un cycle (positif à négatif puis négatif à positif). Combien penses-tu qu'il y aura de changements de polarité par seconde dans le courant alternatif que tu utilises à la maison ou à l'atelier?*

Discutes-en avec tes amis ou avec ton professeur. La réponse est étonnante. Tant de changements de polarité en une seule seconde!

Et ce n'est pas tout! Il existe des appareils appelés générateurs de haute fréquence qui sont capables de produire un courant alternatif présentant des valeurs de fréquence absolument incroyables. Nous parlons de fréquences de l'ordre du mégacycle soit 1 million de cycles par seconde. Tu auras l'occasion d'entendre parler de ces appareils lorsque tu étudieras le soudage par induction.

Pour ce qui est de ce module, rappelle-toi que **la fréquence est le nombre de cycles que fait un courant alternatif en 1 seconde**. L'unité utilisée est **le hertz**. Par exemple, le cas cité au début de ce module présentait un piston et une source CA fonctionnant sur une fréquence de 1 cycle par seconde. On peut dire qu'ils opéraient sur une fréquence de 1 hertz. De même, un courant électrique alternatif conventionnel possède une fréquence de 60 hertz. Tu peux d'ailleurs vérifier cela en examinant les inscriptions figurant sur différents appareils électriques de la maison. Ils sont tous conçus pour fonctionner avec ce type de courant.

---

* Dans beaucoup de pays, cette fréquence est de 50 cycles par seconde.

FICHE DE SYNTHÈSE

Comparaison entre un circuit d'eau et un circuit électrique

CIRCUIT D'EAU	*CIRCUIT ÉLECTRIQUE*
Dans un circuit d'eau alimentant une turbine, il faut une pompe pour créer une pression.	Dans un circuit électrique alimentant un moteur, il faut une source pour créer une tension ou différence de potentiel.
Le passage de l'eau à travers la turbine provoque une baisse de pression dans les tuyaux.	Le passage du courant à travers le moteur provoque une chute de tension dans les fils.
L'eau retourne ensuite à la pompe qui lui redonne une pression élevée.	Le courant retourne ensuite à la source qui lui redonne une tension élevée.
Le circuit d'eau est fermé.	Le circuit électrique est fermé.

LA PRESSION EST LA FORCE DU COURANT D'EAU.	**LA TENSION EST LA FORCE DU COURANT ÉLECTRIQUE.**
LE DÉBIT EST LA QUANTITÉ D'EAU CIRCULANT DANS LES TUYAUX.	**L'INTENSITÉ DU COURANT EST LA QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ CIRCULANT DANS LES FILS.**

Courant continu

C'est un courant électrique dont le sens de circulation dans les fils est toujours le même, soit d'une borne à une autre.

Courant alternatif

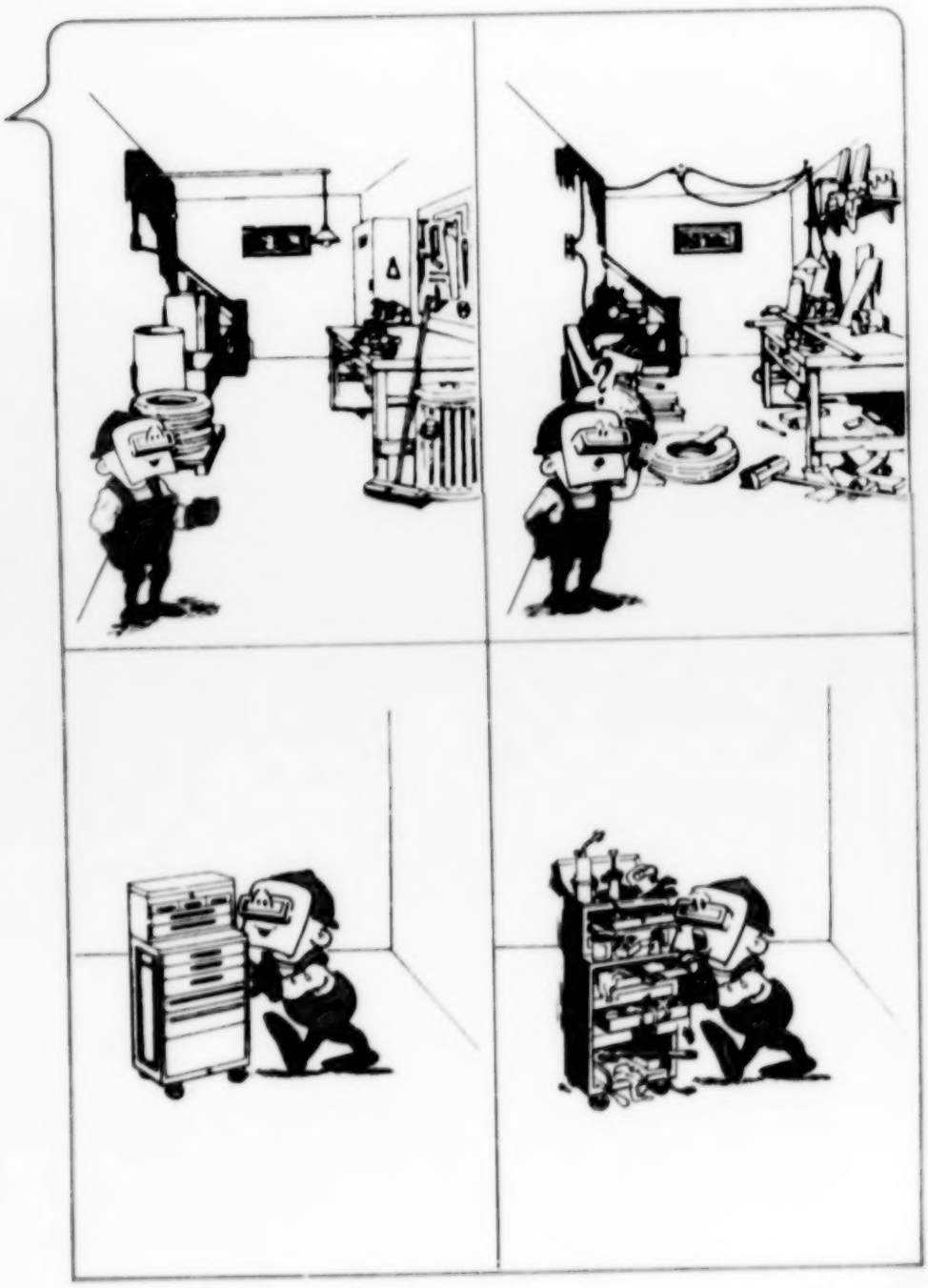
C'est un courant électrique dont le sens de circulation dans les fils change constamment de façon très rapide. Les polarités sont alternées sans arrêt à la source. Cette alternance se transmet à l'appareil par l'intermédiaire des fils.

Sens du courant

Que ce soit en courant continu ou un courant alternatif, le sens *conventionnel* du courant électrique est choisi du positif au négatif.

Fréquence

La fréquence est la mesure du nombre de cycles complets qu'effectue le courant électrique en changeant son sens de circulation, et cela, à chaque seconde. Rappelle-toi qu'un cycle complet est le changement de polarité de + à − puis le retour à +.



FICHE D'ÉVALUATION

Quelle est la lettre correspondant à la meilleure réponse ?

1 - Quel est l'effet de la mise sous tension d'un circuit électrique ?
   a) Cela permet la conversion du courant alternatif en courant continu.
   b) Cela permet la mesure de l'intensité du courant circulant dans le circuit.
   c) Cela permet aux charges électriques de circuler dans le circuit.

2 - Quelle est la définition correcte de l'intensité du courant parmi les définitions suivantes ?
   a) L'intensité du courant exprime la force d'une batterie ou d'un circuit électrique.
   b) L'intensité du courant exprime la quantité de charges électriques qui circulent par seconde.
   c) L'intensité du courant exprime la vitesse des charges électriques circulant dans les fils.

3 - « C'est l'intensité du courant qui entraîne les charges électriques à circuler dans les fils ».
   a) Cette affirmation est vraie.
   b) Cette affirmation est fausse.
   c) Cette affirmation est vraie seulement quand il n'y a pas de tension.

4 - La tension se développe dans une batterie lorsque les charges électriques commencent à circuler dans les fils.
   a) Cette affirmation est vraie.
   b) Cette affirmation est fausse.
   c) Cette affirmation est vraie seulement pour le courant alternatif.

5 - Dans un circuit électrique, une partie du courant électrique est consommée par l'appareil. L'autre partie retourne à la source.
   a) Cette affirmation est vraie.
   b) Cette affirmation est fausse.
   c) Cette affirmation est fausse seulement pour les circuits à courant continu.

6 - Complète la phrase.
   Dans un circuit électrique continu, le mouvement des charges s'effectue . . . .
   a) toujours dans le même sens.
   b) sans variation d'intensité.
   c) sans perte de chaleur.

7 - Complète la phrase.
Le sens conventionnel du courant électrique est celui qui circule . . . .
a) de la borne négative vers la borne positive.
b) de la borne positive vers la borne négative.
c) uniquement de la source vers l'appareil.

8 - Complète la phrase.
Le soudage en polarité normale est obtenu lorsque le courant électrique circule . . . .
a) de façon continue.
b) de l'électrode vers la pièce.
c) de la pièce vers l'électrode.

9 - Parmi les choix offerts, identifie une cause responsable de l'arrêt du courant électrique dans un circuit.
a) La batterie a perdu sa tension.
b) La batterie a perdu son courant.
c) La polarité est inversée.

10 - Considérons le circuit d'une ampoule électrique alimentée par une batterie de lampe de poche. Laquelle de ces affirmations t'apparaît la plus exacte ?
a) Le courant mesuré à la borne positive de la batterie revient complètement à la borne négative.
b) Une partie du courant électrique se perd dans l'ampoule ce qui permet à celle-ci de s'allumer.
c) L'ampoule peut s'allumer si on la colle à la borne positive de la batterie.

La chute de tension

Nous te proposons dans ce complément une étude un peu plus avancée de la notion de tension. Pour ce faire, retourne au module d'acquisition 2 et examine la figure 11. Tu sais déjà que la pression la plus élevée se trouve dans le tuyau du haut. Une partie de cette pression sert alors à actionner la turbine. On dit qu'il y a eu chute de pression à travers la turbine. Elle est donc moins élevée dans le tuyau du bas.

Demande-toi maintenant s'il y a une chute de pression de gauche à droite à l'intérieur du même tuyau. En réalité, l'eau circule de gauche à droite dans le tuyau du haut car elle est poussée par la pompe. La pression créée par cette pompe apparaît au niveau de la turbine. Elle est transmise de la pompe à la turbine à travers le tuyau. Il ne s'est rien passé entre temps! Il faut donc conclure que le tuyau ne provoque pas de chute de pression appréciable. La pression est la même à gauche et à droite du tuyau du haut.

La discussion du circuit de la figure 12 pourrait se faire de la même façon. C'est le même phénomène en électricité. La tension créée par la source se transmet au moteur par l'intermédiaire des fils. Le fil du haut ne provoque pas de chute de tension.

Il serait donc utile ici de retenir les deux conclusions suivantes.

— Un **tuyau** ne provoque pas de chute de **pression** appréciable.
— Un **fil** ne provoque pas de chute de **tension** appréciable.

Un court-circuit

Nous te proposons maintenant une nouvelle notion qui ne t'est sûrement pas inconnue. C'est le **court-circuit**. Dans le but de comprendre les conséquences d'un court-circuit, reproduisons le dessin de la figure 11 avec, en plus, une légère modification. Un tuyau est ajouté entre celui du haut et celui du bas, tuyau qu'on appellera AB.

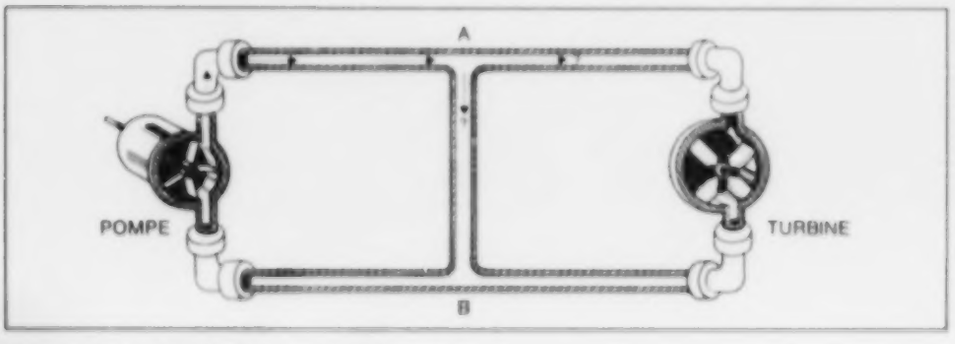


Figure 24 : Circuit d'eau modifié.

Essaie de t'imaginer où ira l'eau lorsqu'elle atteindra le point A. À cet endroit, deux chemins sont possibles : le passage à la jonction B directement par le tuyau AB ou encore le passage à travers la turbine.

Rappelle-toi que le passage de l'eau dans une turbine provoque sa rotation. Cependant, tout cela est un effort pour le courant d'eau. Cet effort pourrait être évité si l'eau empruntait la voie tracée par le tuyau AB.

L'eau emprunte donc le chemin le plus facile en évitant la turbine. Cette dernière ne pourra pas entrer en rotation. La conséquence majeure apportée par l'ajout du tuyau AB est un circuit qui ne fonctionnera plus de façon normale.

Dans un circuit présentant des jonctions de tuyaux, l'eau se dirige toujours vers le chemin le plus facile.

Encore une fois, il est possible de comparer cette étude du courant d'eau à celle du courant électrique. Par conséquent, tentons l'expérience en disposant un fil électrique supplémentaire dans le circuit de la figure 12.

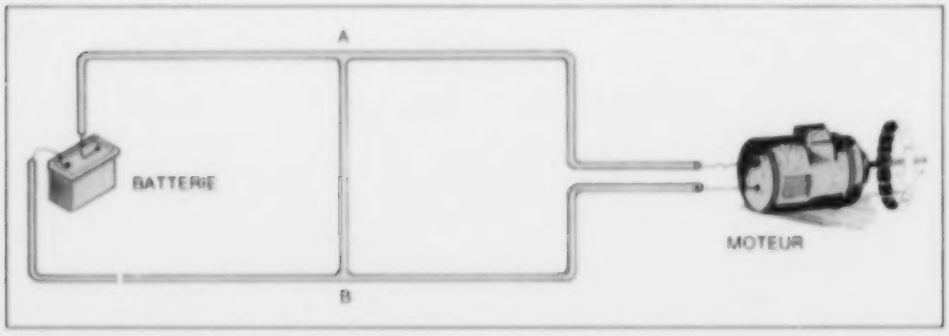


Figure 25 : Circuit électrique modifié.

Le principe est le même. Le fil AB offre une voie plus facile au courant électrique. Celui-ci en profite pour ainsi éviter le moteur.

Dans un circuit présentant des jonctions de fils, le courant emprunte toujours le chemin le plus facile.

Il découle de ceci que le moteur ne tourne pas ! Le fil AB introduit un **court-circuit**, ce qui rend le moteur **inactif**. Y a-t-il une autre conséquence ? Oui, elle se produit au niveau de la source. Cependant, arrêtons-nous ici car cette question sera abordée dans le cahier suivant, celui du circuit électrique. Tu pourras voir que la source peut être soumise à un danger de détérioration.

Pour l'instant, retiens que la présence d'un court-circuit dans un circuit électrique modifie profondément son comportement. Tu devras toujours, lors du montage d'un circuit de soudage, faire attention de ne pas introduire un court-circuit quelque part.

Mise à la terre

As-tu déjà examiné le mode de branchement des pôles d'une batterie d'automobile ? Si tu peux le faire d'ici la fin de ta journée, profites-en. Tu verras que la borne négative est reliée directement à la carrosserie. Quant aux fils électriques de la voiture, ils semblent tous se regrouper en un gros fil et former un branchement à la borne positive. En fait, il se produit ceci. Le courant électrique sort de la borne positive, circule dans les divers fils et revient à la borne négative par l'entremise de la carrosserie. Cela est possible puisque le courant peut circuler dans l'acier. Dans ce cas, on dit que la borne négative de la batterie est **mise à la terre**. L'acier de l'automobile joue le rôle de masse.

Tu sais très bien que tout travailleur qui manipule des appareils électriques tient ces appareils dans ses mains tout en posant ses pieds par terre. À cause de cela, on choisit généralement la terre comme masse de référence. À l'entrée électrique d'une maison, il y a toujours ce qu'on appelle une **prise de terre**. C'est tout simplement une longue tige de métal enfoncée dans le sol. Toutes les boîtes électriques de la maison sont reliées à cette tige par un fil non isolé. Ce dispositif sert de **mise à la terre**.

Les appareils électriques sont souvent munis de fils qui permettent un branchement du boîtier de l'appareil à la prise de terre. Des chocs électriques peuvent alors être évités aux utilisateurs car le boîtier et la terre sont au même potentiel. Par exemple, tu te donnes toujours une mise à la terre lorsque tu fais le montage de ton circuit de soudage. Tu relies la pièce à souder à la prise de terre. Ce n'est qu'une des nombreuses précautions envisagées pour protéger le soudeur des dangers de l'électricité.

SAVAIS-TU QUE...

LA MISE À LA TERRE PEUT SE FAIRE EN CONNECTANT LE CIRCUIT À UNE CONDUITE D'EAU MÉTALLIQUE. CEPENDANT IL NE FAUT JAMAIS UTILISER LES CONDUITES DE GAZ CAR SI UN FORT COURANT CIRCULE LORS D'UNE FUITE DE GAZ, UNE EXPLOSION PEUT SE PRODUIRE.

MODULE D'EXERCICES

Les exercices que nous te proposons utilisent abondamment la comparaison du courant électrique avec le courant d'eau. Ils te permettent de vérifier si tu as bien compris les notions plus avancées du cahier que tu viens de parcourir. Les **solutions** te sont présentées à la fin de ce module. Essaie de les consulter seulement après avoir émis ta propre solution. Ce sera plus utile pour toi de cette façon.

No 1 CIRCUIT D'EAU À DEUX TURBINES

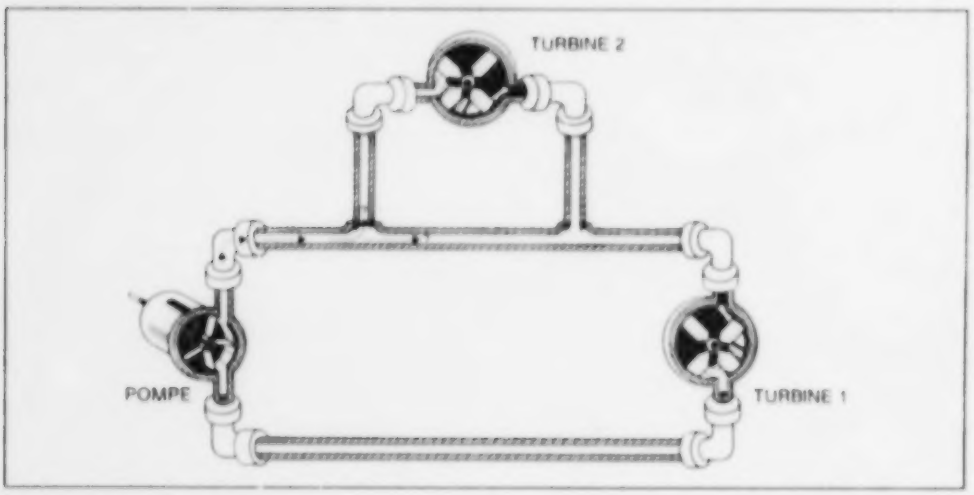


Figure 26

1.1 *Si la pompe à eau est mise en marche, selon toi, la turbine 1 tourne-t-elle ? Explique ta réponse.*

1.2 *En ce qui concerne la turbine 2, est-ce que celle-ci se met à tourner ? Explique ta réponse.*

No 2 CIRCUITS ÉLECTRIQUES À DEUX AMPOULES

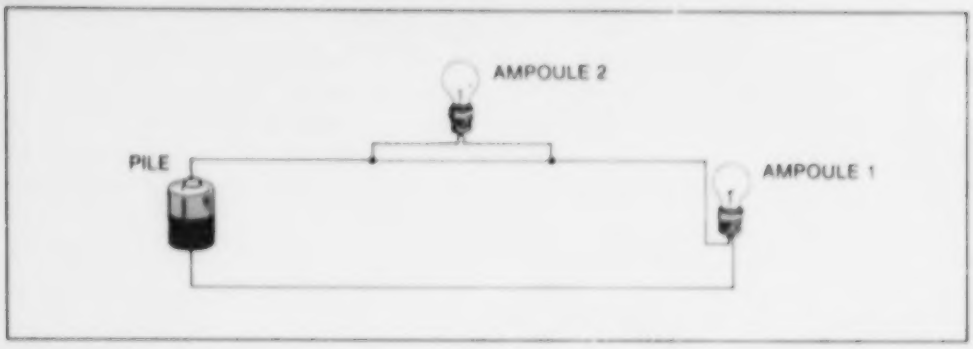


Figure 27

2.1 *Selon toi, l'ampoule 1 s'allume ou ne s'allume pas ?*
Pourquoi ?

Selon toi, l'ampoule 2 s'allume ou ne s'allume pas ?
Pourquoi ?

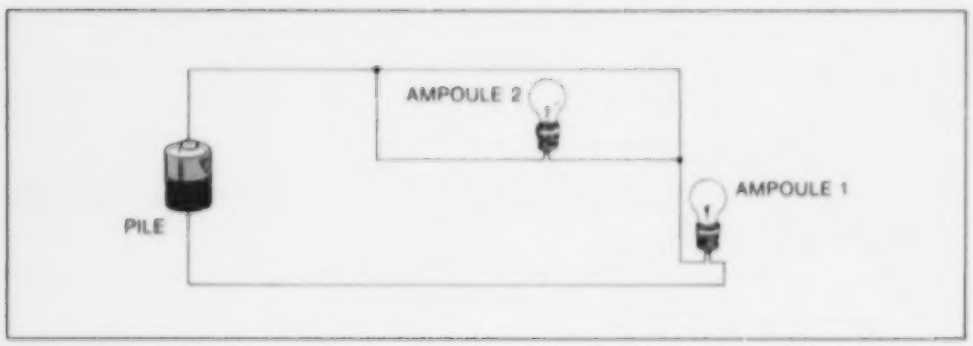


Figure 28

2.2 *Selon toi, l'ampoule 1 s'allume ou ne s'allume pas ?*
Pourquoi ?

Selon toi, l'ampoule 2 s'allume ou ne s'allume pas ?
Pourquoi ?

No 3 BRANCHEMENTS À UNE OU À DEUX BATTERIES

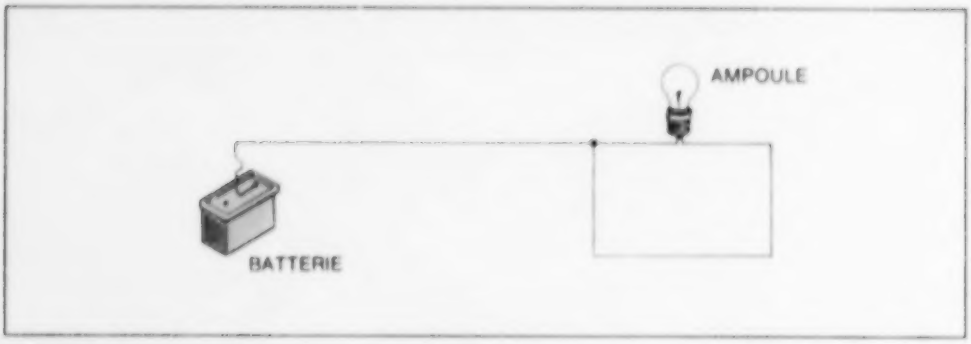


Figure 29

3.1 *Selon toi, l'ampoule s'allume-t-elle ?*
Explique ta réponse.

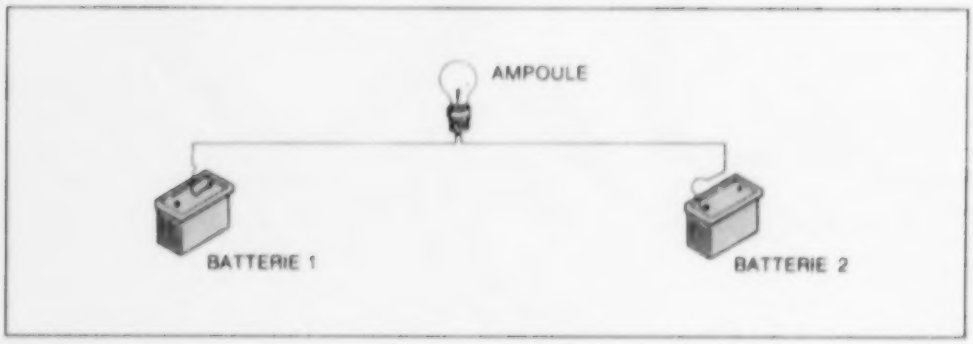


Figure 30

3.2 *Selon toi, l'ampoule s'allume-t-elle ?*
Explique ta réponse.

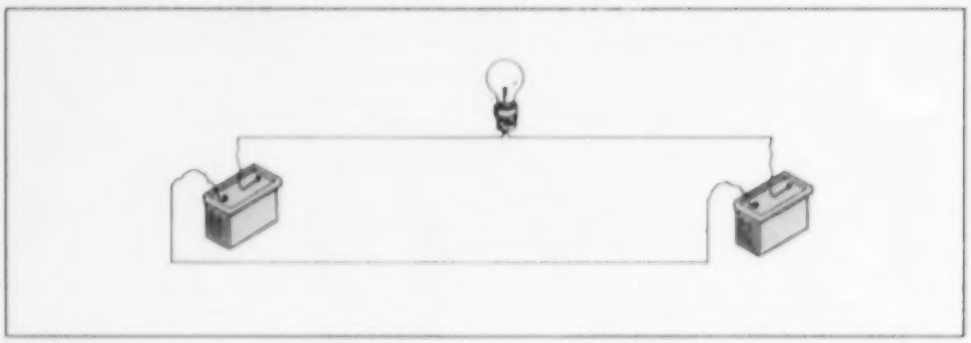


Figure 31

3.3 *Selon toi, l'ampoule s'allume-t-elle ?*
Explique ta réponse.

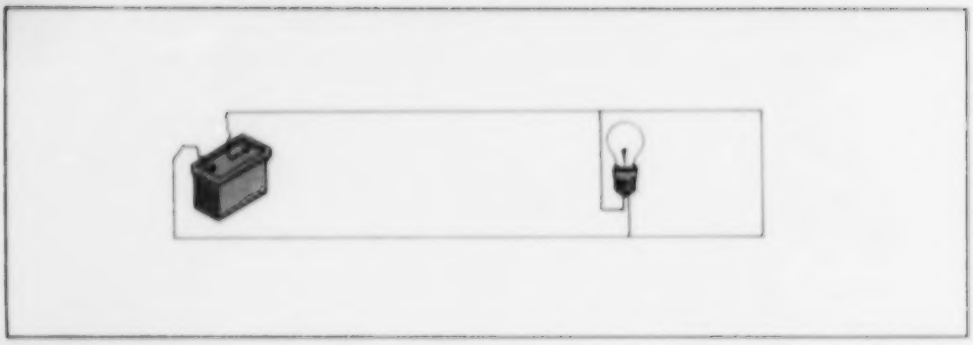


Figure 32

3.4 *Selon toi, l'ampoule s'allume-t-elle ?*
Explique ta réponse.

No 4 MODIFICATIONS DU CIRCUIT D'EAU CONTINU

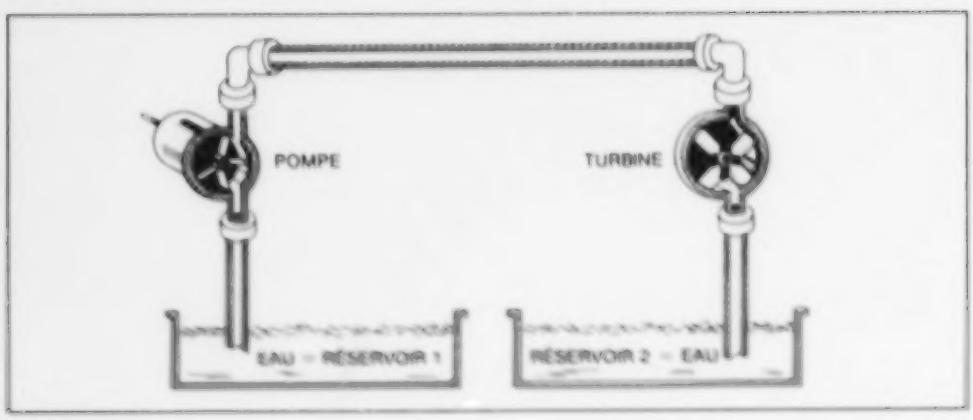


Figure 33

4.1 *Est-ce que ce système peut bien représenter un circuit électrique en courant continu ? Pour t'aider à répondre à cette question, demande-toi si ce montage peut fonctionner de la même façon que celui présenté à la figure 11 de la page 19. Explique ta réponse.*

Figure 34

4.2 *Est-ce que ce système peut bien représenter un circuit électrique en courant continu ? Explique ta réponse.*

No 5 MODIFICATIONS DU CIRCUIT D'EAU ALTERNATIF

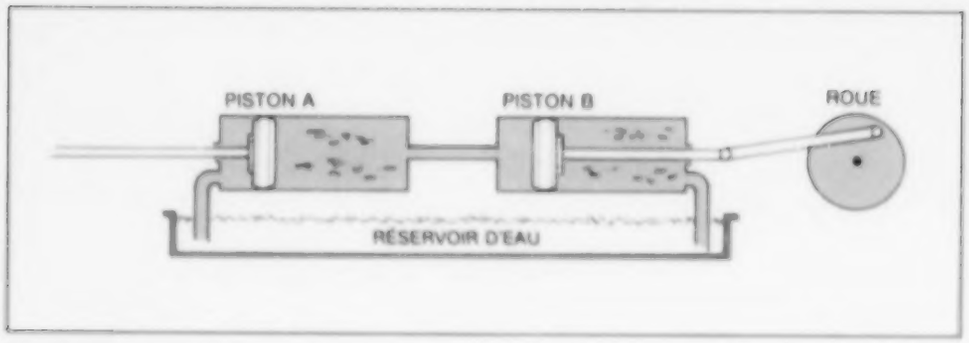


Figure 35

5.1 *Compare ce montage à celui de la figure 15. Est-ce que ce circuit d'eau en courant alternatif peut fonctionner de la même façon ? Étudie le montage de façon graduelle. Pousse d'abord sur le piston A vers la droite et regarde le résultat apporté sur le sens de rotation de la roue. Fais de même avec un mouvement du piston A vers la gauche.*

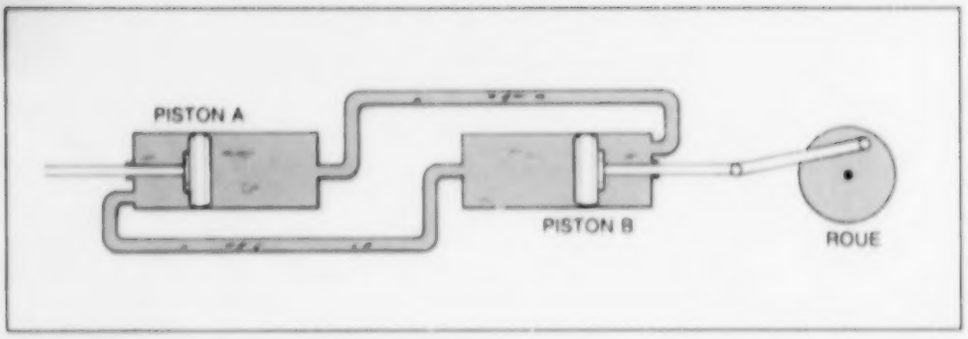


Figure 36

5.2 *De la même façon que précédemment, regarde de quelle façon fonctionne ce montage. Est-ce qu'il peut représenter un circuit d'eau en courant alternatif ?*

No 6 MONTAGE ÉLECTRIQUE

Un technicien doit installer quelques lampes sur un pont en acier afin d'en assurer l'éclairage. Se basant sur son expérience, il n'utilise qu'un seul fil pour le transport de l'électricité tout le long du pont. Comment penses-tu qu'il a branché les ampoules et quel est son raisonnement ?

SOLUTIONS DES EXERCICES

No 1 1.1 La turbine 1 tourne car elle est reliée directement de part et d'autre de la pompe. La pression générée par cette pompe se retrouve donc au niveau de la turbine.

1.2 La turbine 2 ne tourne pas puisqu'elle est reliée à un seul tuyau entre la pompe et la turbine 1. Il n'y a pas cette chute de pression nécessaire pour faire fonctionner la turbine.

No 2 2.1 L'ampoule 1 s'allume alors que l'ampoule 2 ne s'allume pas. La tension générée par la pile est transférée au niveau de l'ampoule 1 mais pas au niveau de l'ampoule 2. Remarque que ce circuit est semblable au circuit d'eau de l'exercice précédent.

2.2 La réponse est la même puisque la situation est semblable à celle présentée en 2.1. Remarque que la partie ajoutée au circuit est branchée aux mêmes endroits par rapport à la pile et à l'autre ampoule.

No 3 3.1 L'ampoule ne s'allume pas. La tension créée par la pile ne peut se transmettre aux bornes de l'ampoule.

3.2 L'ampoule ne s'allume pas car les piles ne sont pas reliées.

3.3 L'ampoule s'allume si le mode de branchement des fils aux batteries est adéquat. Il faut relier la borne positive d'une batterie directement à la borne négative de l'autre batterie. On appelle ce branchement « en série ».

3.4 L'ampoule ne s'allume pas puisqu'il y a court-circuit. (voir le module de complément).

No 4 4.1 Ce système ne peut fonctionner que durant un temps limité. Il s'arrête dès que le réservoir de gauche est vide. Il ne peut donc pas représenter de façon correcte un circuit électrique en courant continu.

4.2 Ce système fonctionne parfaitement car l'eau à la sortie de la turbine retourne à la pompe de façon continuelle. Il peut donc bien représenter un circuit électrique en courant continu.

No 5 5.1 Ce montage ne diffère de celui de la figure 15 que par le mode de raccordement des cylindres entre eux. Ce sens de rotation de la roue est dans le sens contraire et c'est là la seule différence.

5.2 La roue tourne. Cela est possible car le tuyau reliant les deux cylindres transmet de façon alternative une pression et un vide.

No 6 Chaque ampoule est branchée comme suit : une de ses bornes est reliée au fil électrique tandis que l'autre borne est reliée au pont. Les bornes de la source sont elles aussi reliées au fil et au pont. Ce problème concret est comparable à la situation du numéro précédent. Observe la figure 36. Une partie du circuit entretient la rotation de la roue tout comme un fil électrique alimente les ampoules. De plus, un bassin permet de garder le circuit d'eau fermé tout comme le pont le fait avec le circuit d'éclairage.

ISBN 2-920859-21-8

FIN

Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8970[illegible]
Centre d'intérêt: 874

Simard, Paul-Aimé.

Phénomènes électriques en soudage / Paul-Aimé Simard, Richard Parent, Hélène Hensler [pour l'Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation]. -- 2e éd. rev. et corr. -- [Sherbrooke] : Éditions du CRP, [1988?-1989?]. 5 v. (43 ; 44 ; 51 ; 39 ; 52 p.) : ill. ; 26 cm. -- (Concepts scientifiques de base)Dépouillement: v. 1. Le courant électrique -- v. 2. Le circuit électrique -- v. 3. Les sources de courant -- v. 4. L'arc électrique -- v. 5. Les conducteurs électriques.

ISBN 2-920859-21-8

ISBN 2-920859-22-6

ISBN 2-920859-25-0

ISBN 2-920859-26-9

ISBN 2-920859-27-7

Vedette(s)-secondaire(s): Parent, Richard • Hensler, Hélène • Université de Sherbrooke. Faculté d'éducation

Descripteur(s): Techniques physiques • Formation professionnelle • Manuel scolaire • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Sondage • Electricité

Le manuel a été rédigé à l'intention des élèves en soudage du secondaire professionnel. Il aborde le domaine de l'électricité et expose des notions qui peuvent aider l'élève à mieux comprendre certains gestes qu'il exécute ou certains phénomènes qui se produisent lorsqu'il soude à l'arc électrique. Le manuel traite de cinq grands thèmes: 1. le courant électrique; 2. le circuit électrique; 3. les sources du courant électrique; 4. l'arc électrique; 5. les conducteurs électriques. Dans le but d'aider l'élève à mieux aborder chacun de ces cinq thèmes, on met à sa disposition, au début de chaque thème, des fiches d'information qui indiquent les problèmes abordés dans le thème, les objectifs généraux et spécifiques visés, la démarche à suivre et le contenu du thème divisé en modules de divers types. La plupart des modules se terminent par une série de questions-synthèses. Cette évaluation préliminaire permet à l'élève de vérifier au fur et à mesure son degré de compréhension de la matière.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8779569

EDUQ
8970231-8

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

2e cahier — Le circuit électrique

2e édition

Paul-Aimé Simard
Richard Parent
Hélène Hensler

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ÉDITIONS DU CRP

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

2e cahier — Le circuit électrique

Paul-Aimé Simard,
Professeur au département de Physique
de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke

Richard Parent,
Ingénieur en mécanique et chercheur
à l'Université de Sherbrooke

Hélène Hensler,
Professeure au département de Pédagogie
de la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e edition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
Programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

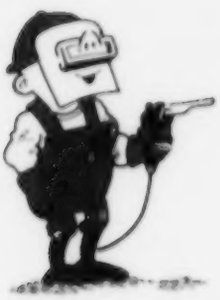
ISBN 2-920859-22-6

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 3e trimestre 1988
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE



- Fiche d'information 4
- Module d'introduction 5
- Module d'acquisition 1 9
  La puissance
- Module d'acquisition 2 17
  Le résistance
- Module de prolongement 1 24
  La combinaison en parallèle
- Module de prolongement 2 28
  La combinaison en série
- Fiche de synthèse 33
- Fiche d'évaluation 35
- Module de complément 37
  Les appareils de mesure
- Module d'exercices 42

FICHE D'INFORMATION

Problèmes abordés

Ton étude des phénomènes électriques se poursuit avec ce deuxième cahier. Maintenant que tu devrais avoir mieux compris les caractéristiques d'un courant dans un fil électrique, tu peux étudier ce qui se produit dans un circuit complet. Cette étude pourra t'aider à trouver la réponse à plusieurs questions dont les deux suivantes présentées à titre d'exemple.

Lorsque tu ajustes la tension ou l'intensité du courant de ton arc de soudage, tu remarques que celui-ci est plus ou moins performant. La puissance de cet arc est variable selon tes ajustements. Mais qu'est-ce que la puissance ? Pourquoi, par exemple, une ampoule de 100 watts éclaire-t-elle plus qu'une ampoule de 60 watts ?

Il peut parfois arriver des accidents dans un atelier de travail. Un fusible peut brûler ou un disjoncteur se fermer. On doit alors remédier à la situation et vérifier les panneaux de l'entrée électrique. Comment doit-on réagir face à tout cela ?

Objectifs visés

OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de ce cahier est d'étudier les deux principales caractéristiques des éléments d'un circuit électrique, soit la puissance et la résistance.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Identifier les composantes d'un circuit élémentaire.
- Définir la notion de puissance.
- Appliquer la notion de puissance à un circuit électrique.
- Reconnaître les deux façons de modifier la valeur de la puissance dans un circuit.
- Appliquer la formule de la puissance à des problèmes numériques relatifs à des circuits simples.
- Nommer la raison pour laquelle un appareil électrique peut être qualifié de résistance électrique.
- Définir la loi d'Ohm et l'appliquer à des problèmes numériques relatifs à des circuits simples.
- Énumérer les conséquences entraînées par l'ajout d'appareils électriques sur un même circuit.
- Énumérer les conséquences entraînées par l'ajout de résistances en série dans un même circuit.
- Nommer les quatre principaux appareils de mesure ainsi que leurs modes de branchement dans un circuit électrique.

Le 110 ou le 220 volts ?

As-tu déjà remarqué les valeurs de tension qui sont disponibles à l'entrée électrique de ta maison ? Ce sont le 110 volts et le 220 volts. En Amérique du Nord, la plupart des appareils électriques utilisés fonctionnent à partir du 110 volts. Tu peux vérifier ce fait en examinant l'envers de quelques appareils. Tu remarqueras la notation 110V sur chacun d'eux. Quant au 220 volts, il est réservé aux appareils forts consommateurs d'énergie telles la cuisinière électrique ou la sécheuse à linge. Ces appareils ont besoin d'une plus grande force de courant pour être efficaces.

Malgré cette tension plus élevée, de nombreuses personnes affirment qu'un appareil fonctionnant dans de telles conditions est plus économique. Ils argumentent qu'un appareil opérant sur le 220 volts nécessite moins de courant qu'un appareil semblable utilisant le 110 volts. Cela est vrai mais ont-ils raison de prétendre que la facture d'électricité sera moins élevée ?

Il serait important d'étudier cette question pour les raisons suivantes. Tout d'abord, si un jour tu es propriétaire d'une maison ou d'un commerce, tu auras à planifier tes dépenses d'électricité. De plus, si tu deviens responsable d'un atelier dans le domaine du soudage, tu verras que de nombreux appareils électriques sont nécessaires.

Imagine-toi quelques instants dans ton propre atelier. Pense à une situation où plusieurs appareils fonctionnent en même temps. Il y a les postes de soudage, les meules, les perceuses, le système de ventilation, le système de chauffage ainsi que l'éclairage de la pièce. Qu'arrive-t-il lorsque tant d'appareils sont branchés sur une même entrée électrique ?

SAVAIS-TU QUE...

C'EST L'INVENTION DE LA LAMPE ÉLECTRIQUE
À INCANDESCENCE VERS 1879
QUI LANÇA DANS LE PUBLIC
LA DEMANDE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE.

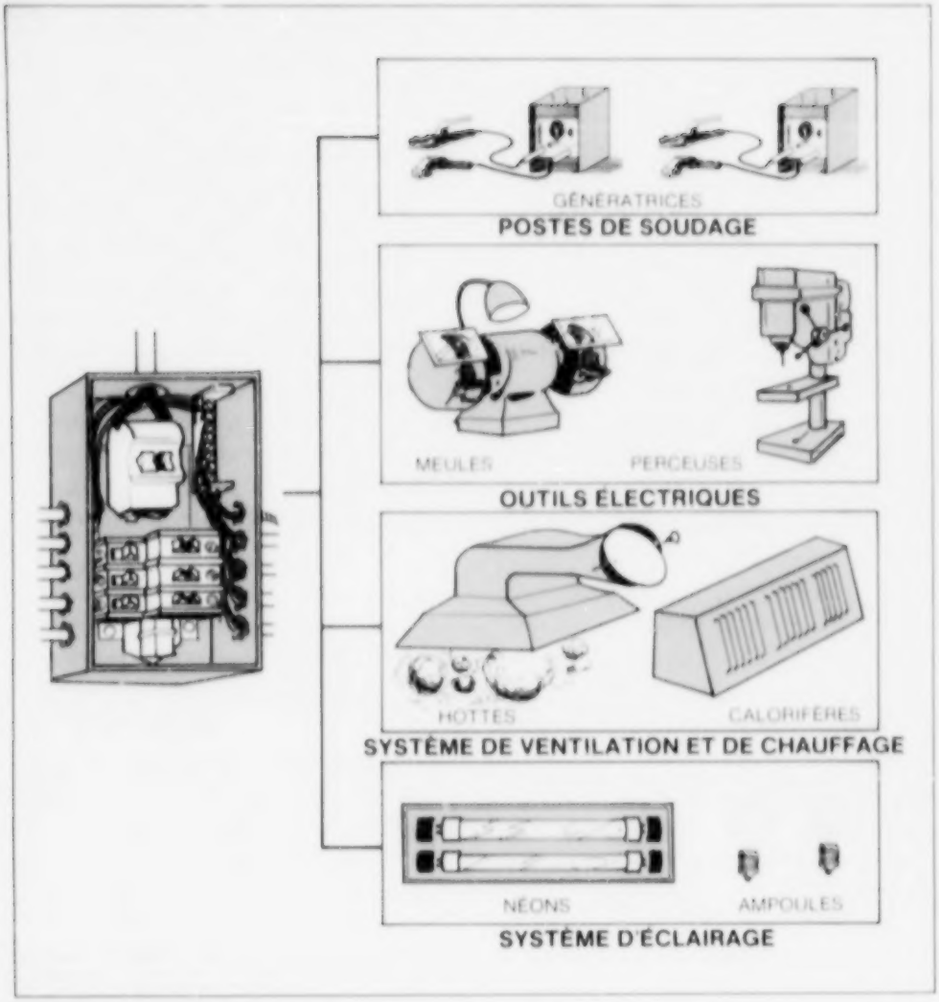


Figure 1 : Appareils en présence dans un atelier de soudage.

Tu vois bien que cette deuxième question mérite réflexion également. Il est possible pour toi d'apprendre à résoudre ces problèmes en nous accompagnant dans les prochaines pages. Les modules qui suivent te renseignent sur les principales caractéristiques d'un **circuit électrique**.

Chaque fois que tu utilises un appareil fonctionnant à l'électricité, un circuit électrique est formé. Ce circuit est plus ou moins complexe selon le nombre d'appareils fonctionnant de façon simultanée.

En réalité, nous t'avons déjà présenté des exemples de circuit électrique. Rappelle-toi le module d'introduction du premier cahier. On présentait trois effets pouvant être générés par un courant électrique. Te souviens-tu de ces effets ?

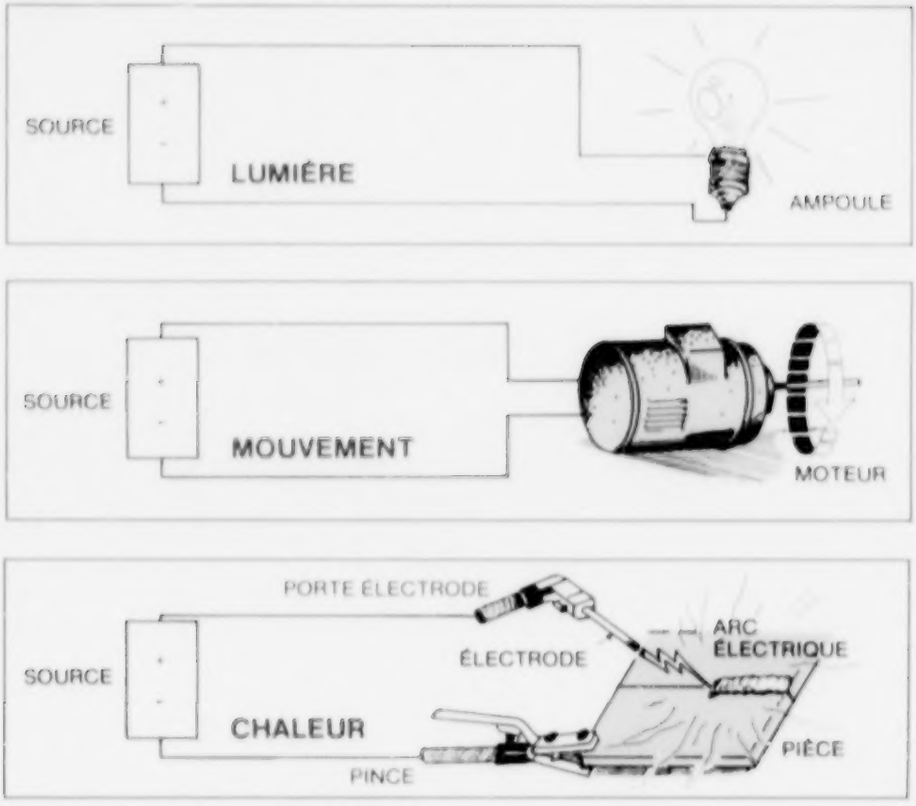


Figure 2 : Trois effets de l'électricité.

Même s'ils représentent trois effets différents du courant électrique, ces schémas se ressemblent fortement. Ils comportent tous une source, des fils et un appareil qui consomme l'électricité. Ces trois éléments forment un circuit. On peut donc représenter un circuit quelconque par un schéma unique appelé **circuit élémentaire.**

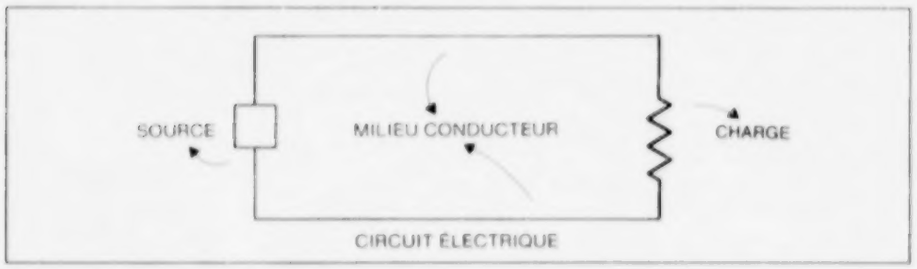


Figure 3 : Circuit électrique élémentaire.

1. **La source** génère le courant électrique. Tout ce qui concerne cette partie du circuit électrique fera l'objet du troisième cahier.

2. **Le milieu conducteur** est la voie de circulation de l'électricité. Des **fils électriques** font habituellement le lien entre la source et l'appareil. Cependant, tu sais que l'électricité peut également circuler dans d'autres milieux. Tu n'as qu'à penser à ton arc électrique lorsque tu soudes avec ce procédé. Les charges électriques doivent alors traverser l'espace de l'arc puis la pièce à souder. Ces notions seront développées dans les cahiers 4 et 5.

3. **La charge** constitue la troisième partie importante dans un circuit élémentaire. Elle reçoit l'énergie transportée par le courant électrique et s'en sert pour créer une utilité quelconque. Tu devines que nous parlons des **appareils électriques**.

Tu connais maintenant une première partie de ce qu'il est essentiel de savoir au sujet du circuit électrique.

Tout circuit électrique est composé de trois éléments de base soit la source, le milieu conducteur et la charge.

Cependant, ton apprentissage doit être complété par deux notions fondamentales. Ces deux notions sont la **puissance** et la **résistance** d'un appareil ou d'un groupe d'appareils électriques. L'étude de ces notions pourra t'aider à répondre aux deux questions soulevées au début de ce module. Elle pourra également te faire comprendre ce qui se produit dans un atelier de soudage. Le bon fonctionnement d'un tel atelier est régié par les valeurs de puissance et de résistance en jeu. Il n'y a aucun risque que tu fasses « sauter » une installation électrique si tu maîtrises bien ces deux notions. Nous t'invitons donc à lire ce cahier avec attention. Le premier module d'acquisition traite de la puissance.

SAVAIS-TU QUE...

L'UNITÉ DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE,
LE WATT,
PROVIENT DU NOM DU PHYSICIEN
JAMES WATT (1736-1812).

LA PUISSANCE

Une nouvelle caractéristique d'un appareil !

Lorsque tu travailles dans ton atelier de soudage, tu peux observer de nombreux appareils électriques tout autour de toi. Nous en avons nommé plusieurs dans le module d'introduction. En plus des postes de soudage, tu manipules des outils comme les meules ou les perceuses. Tu es également servi par les systèmes de climatisation, de chauffage et d'éclairage qui facilitent ton travail.

Est-ce qu'il t'est déjà arrivé d'examiner les caractéristiques de tous ces appareils électriques ? L'étiquette apposée sur ceux-ci précise la tension admissible. Tu sais déjà ce qu'est la tension. Le premier cahier devrait t'avoir aidé à comprendre cette notion. Cependant, chaque étiquette présente également une valeur de **puissance**. Elle est indiquée en watts ou en hp. Une meule peut développer une puissance de 1/3 hp. Une ampoule peut fournir 100 watts. Un séchoir à cheveux peut consommer 1000 watts. Ce sont des exemples parmi tant d'autres. Mais que représente donc cette valeur de puissance ? Y a-t-il moyen de relier cette notion à ce que tu connais déjà: par exemple, la tension et l'intensité de courant ?

Qu'est-ce que la puissance ?

Essayons de répondre à cette première question en nous basant sur une comparaison. Imagine-toi en train de transporter du sable à l'aide d'une brouette. Tu dois remplir cette brouette avec une pelle pour ensuite la vider à un autre endroit.

Figure 4 : Transport du sable en brouette.

Tu devines qu'il y a plusieurs manières d'effectuer ce travail. Prenons par exemple les deux possibilités suivantes. Dans un premier cas, tu décides de travailler avec de grosses pelletées mais à un rythme très lent. Tu remplis une brouette en 10 minutes. De façon à connaître ton efficacité, calculons le nombre moyen de brouettées par heure.

1 brouettée en 10 minutes.
X brouettées en 60 minutes.
On trouve X = 6 brouettées par heure.

On imagine maintenant un deuxième cas où tu changerais de méthode. Tu travaillerais plutôt avec de petites pelletées et à un rythme très rapide. Supposons que tu remplirais la même brouette cette fois en 5 minutes. Calculons encore ici ton efficacité.

1 brouettée en 5 minutes.
X brouettées en 60 minutes.
On trouve X = 12 brouettées par heure.

Tu vois que ton rendement serait plus élevé si tu utilisais la deuxième méthode. On pourrait ainsi dire que **tu développes une plus grande puissance**. Ceci nous permet de comprendre plusieurs choses. Tout d'abord, il est évident que la **puissance** tient compte de la **force** à laquelle le travail est effectué. Mais ce n'est pas tout! La **puissance** dépend également d'un autre facteur. Remarque dans le premier cas où tu utilises de grosses pelletées. Tu peux être très fort mais cela ne veut pas nécessairement dire que le sable est transporté rapidement. La notion de puissance est donc également liée au **temps** requis pour effectuer le travail.

La puissance dépend de la quantité de *TRAVAIL* qu'il faut faire pour accomplir une opération et du *TEMPS* requis pour l'exécuter.

Qu'est-ce que la puissance électrique ?

Nous venons de t'expliquer la notion de puissance sous sa forme générale. Voyons maintenant le rapprochement avec l'électricité. Prenons le cas des ampoules électriques. Tu sais qu'une ampoule de 100 watts éclaire plus fort qu'une ampoule de 25 watts.

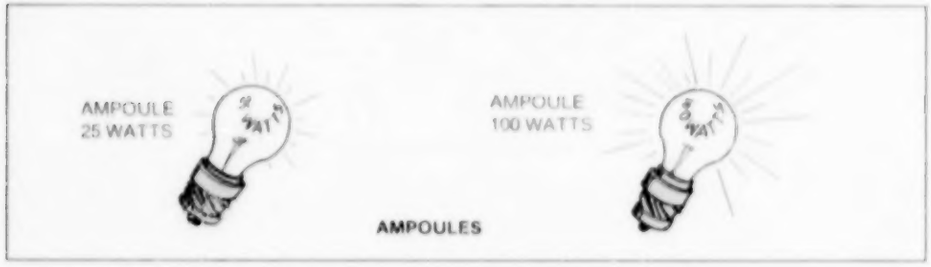


Figure 5 : Ampoules présentant deux niveaux de luminosité différents.

Elles sont pourtant toutes deux reliées à une source de 110 volts (l'entrée électrique conventionnelle de ta maison). Quelle est la raison de ce phénomène ? Il est possible de répondre à cette question en examinant quels facteurs ont une influence sur la puissance dans un circuit électrique.

La puissance d'une turbine

Pour bien visualiser ces facteurs, utilisons une comparaison simple. Rappelle-toi ce que nous avons fait dans le premier cahier. Nous avons effectué un rapprochement entre la circulation de l'électricité et l'écoulement de l'eau. Introduisons donc dans ce module une turbine à eau comme celle qui était présente dans le module sur le courant continu.

Cependant, le montage n'est pas le même. Examine bien l'installation schématisée dans la figure 6. Nous y voyons tout d'abord un immense lac alimenté par une rivière. L'eau s'écoule dans une tuyauterie pour finalement agir sur la turbine. Cette turbine entre en rotation avec un certain rendement. On dit qu'elle développe une certaine **puissance**. Tout en observant notre schéma, es-tu capable de nous dire comment la puissance de cette turbine pourrait être modifiée ?

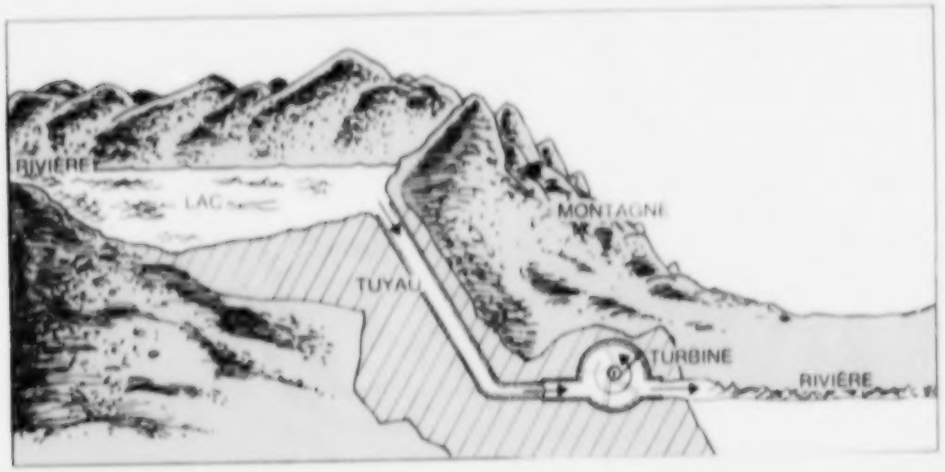


Figure 6 : Installation de la turbine.

En réalité, il y a **deux façons de modifier la puissance de cette turbine.** Peux-tu imaginer lesquelles ? Essaie de les trouver par toi-même. Ensuite, poursuis ta lecture.

Avant d'examiner ces deux façons, rappelons brièvement quelques notions vues dans le cahier précédent. Afin d'étudier les caractéristiques du courant électrique, une comparaison était faite entre un circuit d'eau et un circuit électrique.

TURBINE À EAU	*APPAREIL ÉLECTRIQUE*
Une turbine peut tourner sous l'action d'un courant d'eau créé par une pompe.	Un appareil électrique, par exemple un moteur, peut tourner sous l'action d'un courant électrique créé par une source.

Un courant d'eau est caractérisé par sa **pression** et son **débit**.

La *PRESSION* est la force qui agit sur le courant d'eau.

Le *DÉBIT* est la quantité d'eau qui circule dans la tuyauterie à chaque seconde.

Pareillement en électricité, un courant électrique est caractérisé par sa **tension** et son **intensité**.

La *TENSION* est la force qui agit sur le courant électrique.

L'*INTENSITÉ DU COURANT* est la quantité de charges électriques qui circule dans le fil à chaque seconde.

Revenons maintenant à notre comparaison. Voyons s'il est possible de modifier le rendement de la turbine en changeant certaines parties de l'installation. Les rappels que nous venons d'effectuer concernant le cahier devraient nous aider dans cette démarche.

Imaginons tout d'abord une **hauteur de chute plus élevée**. La turbine serait alors située à un niveau plus bas de la montagne. Quelle serait la conséquence sur la turbine ? Quel rapprochement peut-on faire avec un appareil électrique ?

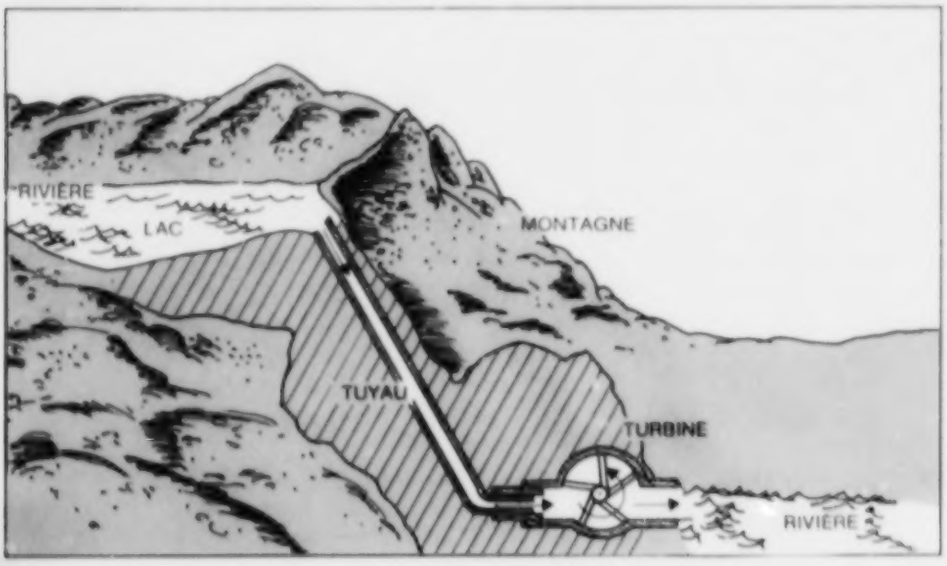


Figure 7 : Modification de la hauteur de chute dans l'installation.

TURBINE À EAU	*APPAREIL ÉLECTRIQUE*
Une hauteur de chute plus élevée entraîne une plus grande force dans le courant d'eau lors de l'arrivée à la turbine. La pression du courant étant plus élevée, la turbine développe une plus grande puissance.	Pareillement en électricité une plus grande force dans le courant signifie une plus grande tension générée par la source. La tension étant plus élevée, cet appareil développe une plus grande puissance.

CONDUITE D'EAU	*CIRCUIT ÉLECTRIQUE*
En résumé, une augmentation de pression peut entraîner une augmentation de puissance.	**En résumé, une augmentation de tension peut entraîner une augmentation de puissance.**

Imagine maintenant une autre situation où la hauteur de chute est la même mais où la **grosseur du tuyau est augmentée**. On suppose qu'il y aurait une rivière plus importante pouvant ainsi fournir plus d'eau à la fois. Quelle serait la conséquence sur la turbine ? Y aurait-il moyen encore une fois de faire un rapprochement avec un appareil électrique ?

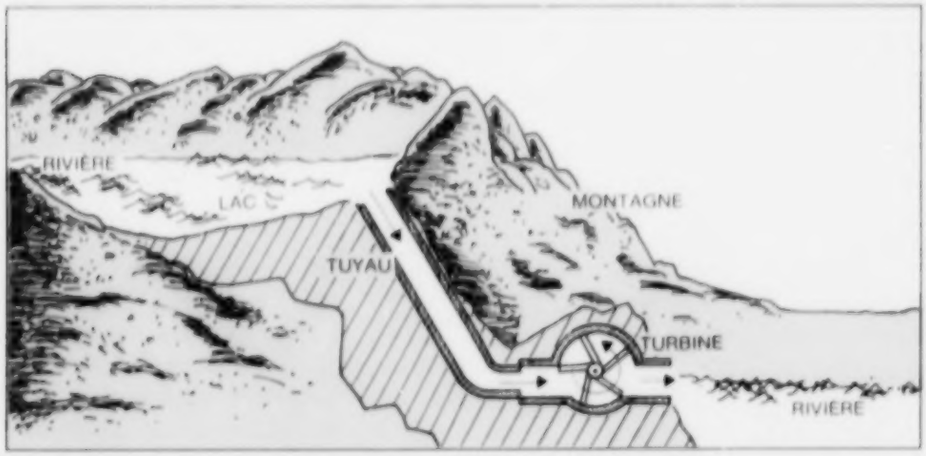


Figure 8 : Modification de la dimension du tuyau de l'installation.

TURBINE À EAU	*APPAREIL ÉLECTRIQUE*
Une plus grande quantité d'eau s'écoulant par unité de temps dans la tuyauterie signifie un débit plus élevé.	Pareillement en électricité, une plus grande quantité de courant circulant par unité de temps dans le fil signifie une intensité plus élevée.
Comme la turbine reçoit une plus grande quantité d'eau dans un même temps, elle peut ainsi être plus performante. En d'autres mots, elle est plus puissante.	Comme un appareil reçoit une plus grande quantité de courant dans un même temps, il peut ainsi développer plus d'énergie. En d'autres mots, il est plus puissant.

Pour bien comprendre cette deuxième situation, rappelle-toi l'exemple de la brouette au début de ce module. La puissance de l'ouvrier ne dépendait pas seulement de sa force mais également de sa rapidité. Plus il travaillait rapidement, plus la quantité de sable transportée par heure était importante.

CONDUITE D'EAU	*CIRCUIT ÉLECTRIQUE*
En résumé, une augmentation du débit peut également entraîner une augmentation de la puissance de la turbine.	**En résumé, une augmentation de l'intensité du courant peut également entraîner une augmentation de la puissance de l'appareil.**

Les deux situations que nous venons de te décrire nous permettent de définir les deux facteurs influençant la valeur de la puissance.

Dans une conduite d'eau, la puissance d'une turbine dépend à la fois de la *PRESSION* et du *DÉBIT* qui caractérisent le courant d'eau.	**Dans un circuit électrique, la puissance d'un appareil dépend à la fois de la *TENSION* et de l'*INTENSITÉ* qui caractérisent le courant électrique.**

Une formule pour la puissance

Tu viens de réaliser que la valeur de la puissance dépend des valeurs de tension et d'intensité du courant en présence dans un circuit. Cependant, comment fait-on pour connaître cette valeur de puissance de façon numérique? D'où vient le chiffre **1/3 hp** apposé sur une meule ou le chiffre **100 watts** inscrit sur une ampoule? Y a-t-il moyen de calculer la puissance à l'aide des deux seules variables que tu connais soit la tension et l'intensité? La réponse est oui.

Comme tu sais, tous les appareils électriques sont caractérisés par une valeur de puissance bien à eux. On symbolise cette valeur par la lettre P. La puissance P peut s'exprimer à l'aide d'une relation mathématique très simple et facile à retenir.

$$P = V \times I$$

La valeur numérique de la *PUISSANCE* est toujours égale à la valeur numérique de la *TENSION* multipliée par la valeur numérique de l'*INTENSITÉ DU COURANT*.

Le symbole V représente la tension* du courant qui alimente un appareil électrique. Par exemple, une ampoule d'un système d'éclairage est alimentée par du 110 volts. Un élément chauffant de la cuisinière électrique reçoit du 220 volts. Un poste de soudage dans ton atelier peut fonctionner sur le 550 volts.

Le symbole I représente l'intensité du courant qui alimente un appareil électrique. C'est pourquoi la lettre I a été choisie par convention. Chaque appareil consomme une quantité de courant différente. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle des puissances différentes sont associées à chacun de ces appareils.

Ceci peut t'aider à répondre à une question posée précédemment dans le module. Pourquoi une ampoule de 100 watts éclaire-t-elle plus fort qu'une ampoule de 25 watts? Regarde à nouveau la formule de la puissance. Comme P est plus élevé (100 au lieu de 25), cela suppose qu'une des deux valeurs (V ou I) est plus élevée. Tu sais que la valeur de V reste la même car les deux ampoules sont alimentées par du 110 volts. Que reste-t-il? L'intensité du courant, eh oui! On peut ainsi affirmer qu'une intensité plus élevée se rend à l'ampoule de 100 watts. C'est ce qui lui permet **d'être plus puissante, d'éclairer plus fort**.

Les unités de mesure

Tout comme on exprime un poids en kilogramme(s) ou une grandeur en centimètre(s), on caractérise les notions associées au courant électrique avec des unités de mesure. Tu sais que la tension se mesure en volts et l'intensité de courant en ampères.

notion	= tension
symbole	= V
unité	= volt
symbole	= V

notion	= intensité
symbole	= I
unité	= ampère
symbole	= A

Maitenant qu'on a associé une unité de mesure à la tension et à l'intensité du courant, il faut faire de même pour la puissance d'un appareil électrique. Il existe deux unités de mesure mais la plus souvent utilisée est le watt.

notion	= puissance
symbole	= P
unité	= watt
symbole	= W

* La lettre V du symbole de la tension provient de l'anglicisme Voltage.

Le symbole V représente la tension* du courant qui alimente un appareil électrique. Par exemple, une ampoule d'un système d'éclairage est alimentée par du 110 volts. Un élément chauffant de la cuisinière électrique reçoit du 220 volts. Un poste de soudage dans ton atelier peut fonctionner sur le 550 volts.

Le symbole I représente l'intensité du courant qui alimente un appareil électrique. C'est pourquoi la lettre I a été choisie par convention. Chaque appareil consomme une quantité de courant différente. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle des puissances différentes sont associées à chacun de ces appareils.

Ceci peut t'aider à répondre à une question posée précédemment dans le module. Pourquoi une ampoule de 100 watts éclaire-t-elle plus fort qu'une ampoule de 25 watts? Regarde à nouveau la formule de la puissance. Comme P est plus élevé (100 au lieu de 25), cela suppose qu'une des deux valeurs (V ou I) est plus élevée. Tu sais que la valeur de V reste la même car les deux ampoules sont alimentées par du 110 volts. Que reste-t-il? L'intensité du courant, eh oui! On peut ainsi affirmer qu'une intensité plus élevée se rend à l'ampoule de 100 watts. C'est ce qui lui permet **d'être plus puissante, d'éclairer plus fort**.

Les unités de mesure

Tout comme on exprime un poids en kilogramme(s) ou une grandeur en centimètre(s), on caractérise les notions associées au courant électrique avec des unités de mesure. Tu sais que la tension se mesure en volts et l'intensité de courant en ampères.

notion	**= tension**
symbole	**= V**
unité	**= volt**
symbole	**= V**

notion	**= intensité**
symbole	**= I**
unité	**= ampère**
symbole	**= A**

Maitenant qu'on a associé une unité de mesure à la tension et à l'intensité du courant, il faut faire de même pour la puissance d'un appareil électrique. Il existe deux unités de mesure mais la plus souvent utilisée est le watt.

notion	**= puissance**
symbole	**= P**
unité	**= watt**
symbole	**= W**

* La lettre V du symbole de la tension provient de l'anglicisme Voltage.

Une autre unité est parfois employée. C'est le **horsepower (hp)**. On l'emploie pour les moteurs électriques ou à essence. Son équivalence par rapport au watt est la suivante: **1 hp vaut 746 watts**. Par exemple, un moteur de meule de 1/3 hp développe une puissance de 249 watts. Pour ce qui est des postes de soudage avec lesquels tu travailles, tu devines que la puissance est variable. En effet, les valeurs de tension et d'intensité de courant peuvent être diverses, la puissance varie en fonction de ces valeurs. Selon les machines utilisées et les ajustements effectués, la tension peut varier de 10 à 25 volts. Parallèlement, l'intensité peut se situer dans une gamme allant de 80 à 300 ampères.

En utilisant la formule de la puissance, on découvre que ton arc de soudage peut développer des puissances de l'ordre de 800 watts à 7500 watts. Tu peux donc facilement imaginer pourquoi tant de mesures de sécurité sont obligatoires dans ton atelier. Entre autres, les fils et isolants électriques doivent être régulièrement vérifiés pour éviter tout choc accidentel qui pourrait être dangereux.

En terminant, voici quelques questions touchant les points principaux de ce module ainsi qu'une petite activité que tu pourras effectuer si tu le désires.

- Quels sont les deux facteurs pouvant influencer la valeur de la puissance dans un circuit électrique?
- Quelle est la formule mathématique de la puissance?
- Quelles sont les valeurs de puissance présentées par ces différents appareils?

À L'ATELIER	*À LA MAISON*
moteur de meule: [redacted]	*bouilloire électrique:* [redacted]
moteur de perceuse: [redacted]	*séchoir à cheveux:* [redacted]
autre à ton choix: [redacted] : [redacted]	*autre à ton choix:* [redacted] : [redacted]

LA RÉSISTANCE

Une première caractéristique d'un appareil: la puissance

Nous t'avons expliqué dans le module précédent une caractéristique importante d'un appareil électrique: soit la **puissance**. Tu as pu comprendre de quoi dépend cette valeur de puissance.

L'exemple de l'ampoule électrique t'a permis de comprendre pourquoi deux appareils alimentés par la même tension peuvent présenter deux valeurs de puissance différentes. Pourquoi une ampoule de 100 watts éclaire-t-elle plus fort qu'une ampoule de 25 watts? Les deux ampoules étant alimentées par du 110 volts, celle de 100 watts consomme une intensité de courant plus élevée. Puisqu'elle agit ainsi, c'est qu'elle possède une caractéristique différente (si on la compare à celle de 25 watts). Cette caractéristique est la **résistance**.

Une deuxième caractéristique d'un appareil: la résistance

Le module d'introduction t'a présenté un **circuit élémentaire**. C'est un circuit qui englobe de façon générale tous les circuits électriques. Peux-tu identifier les diverses composantes de la figure 9?

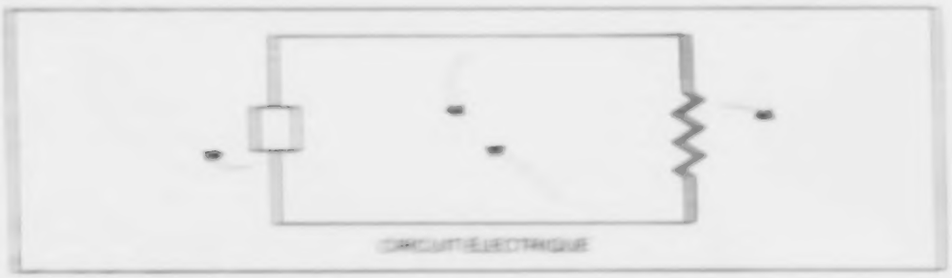


Figure 9 : Circuit élémentaire.

Nous nous étions alors permis de remplacer le terme **appareil** électrique par **charge**. En fait, les appareils électriques, quels qu'ils soient, opposent de la résistance au passage du courant électrique. Pour comprendre le choix du terme charge, pense à la comparaison suivante. On vient de charger lourdement un camion. Pour mettre en mouvement cette masse, le moteur devra fournir un grand effort. On pourrait dire qu'il y a résistance au mouvement du véhicule à cause de cette charge.

> **Un appareil emprunte de l'énergie au courant électrique en lui opposant une résistance.**

Des exemples

Afin de bien comprendre ce que nous voulons dire ici, remémore-toi le cahier 1. Un circuit électrique t'avait alors été présenté sous la forme suivante.

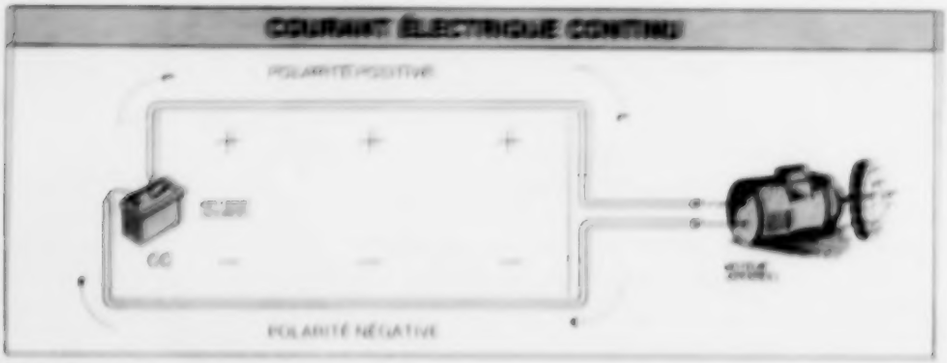


Figure 10 : Moteur électrique.

Tu avais alors compris pourquoi la tension était élevée avant l'arrivée au moteur et faible à la sortie de ce moteur. C'est qu'un appareil électrique a besoin d'énergie pour fonctionner. Il oppose donc une résistance à la circulation de ce courant.

L'énergie empruntée à ce moment sert à effectuer le travail demandé, dans ce cas-ci, la rotation de l'axe du moteur. Le courant à la sortie du moteur possède alors moins de force. En d'autres mots, sa tension a chuté. C'est pourquoi le courant repart vers la source pour faire un nouveau plein d'énergie.

Le même phénomène se produit avec l'arc électrique lorsque tu soudes. De l'énergie est empruntée au courant à cause de la résistance causée par l'arc. En soi, **un arc agit comme une résistance**. Quel est le résultat obtenu cette fois-ci ? Ce n'est pas la rotation d'un moteur évidemment. Pour répondre à cette question, rappelle-toi les différents effets que peut produire l'électricité. Il y en a trois principaux.

En résumé, il est essentiel de retenir l'encadré suivant.

La troisième partie d'un circuit élémentaire après la source et le milieu conducteur est la *CHARGE*. Tout appareil électrique constitue une charge dans un circuit. Elle oppose une résistance au courant électrique.

Une consommation d'énergie

Tu as vu dans les exemples de circuit électrique ce qui se produit au niveau de l'énergie en présence. Tu as compris pourquoi la tension subit une chute à la sortie d'un appareil. On peut visualiser ce phénomène à l'aide de la figure 11 de la page suivante.

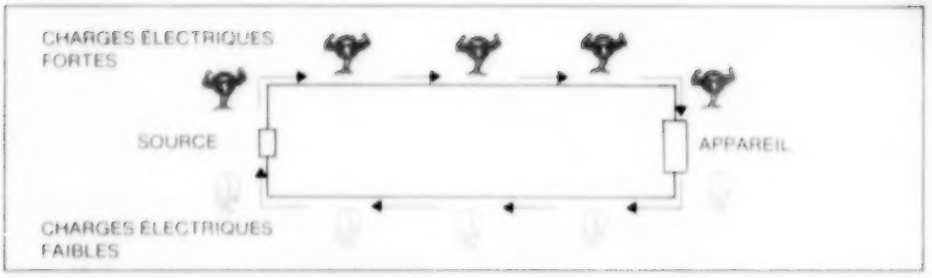


Figure 11 : État des charges électriques avant et après le passage du courant au niveau de l'appareil.

Cette situation nous fait penser à un phénomène semblable se produisant dans un système de chauffage à l'eau. Une certaine quantité d'eau est dirigée vers un calorifère à une température élevée. Puis, il y a perte de chaleur. Celle-ci sert à chauffer la pièce. L'eau poursuit ensuite sa route en direction de la source pour être chauffée à nouveau. Ainsi, l'eau a perdu de sa chaleur au niveau du calorifère tout comme un courant électrique subit une perte d'énergie au niveau de l'appareil.

La résistance dans une conduite d'eau

Faisons ensemble une petite expérience. Plaçons un petit fil électrique à la place de l'appareil dans le circuit. Ce fil agit alors comme une résistance. Il s'oppose au passage du courant électrique à cause de son faible diamètre. Imagine maintenant un montage comparable pour le courant d'eau. Nous te proposons ce qui suit. Il s'agit de sectionner une conduite d'eau et d'installer comme joint un tuyau de faible diamètre. Ce petit tuyau s'oppose au passage de l'eau. Nous l'appelons un **étranglement**.

Voici une comparaison entre l'étranglement et la résistance électrique. La figure 12 montre cet étranglement et la résistance, cette dernière sous la forme d'un symbole.

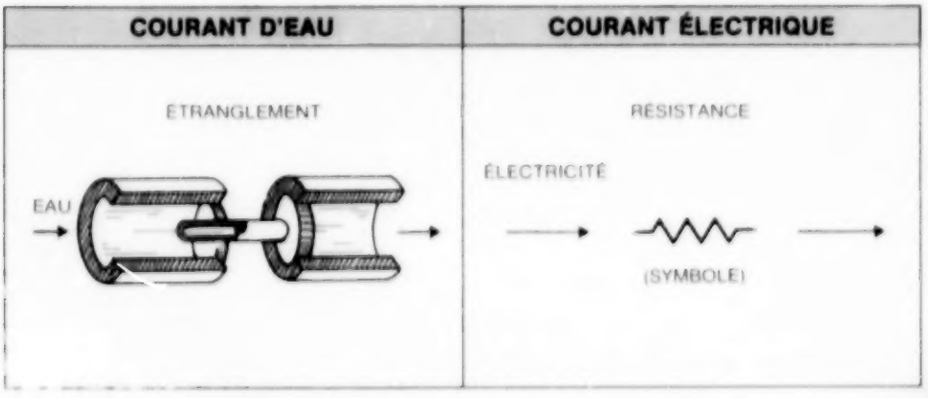


Figure 12 : Comparaison entre un étranglement et une résistance.

Une pompe provoque une pression dans la conduite. Ceci crée un courant d'eau.	Une source provoque une tension dans le circuit. Ceci crée un courant électrique.
La pression pousse l'eau à circuler dans l'étranglement.	La tension pousse les charges électriques à circuler dans la résistance.
Cet étranglement agit comme un obstacle au courant d'eau car l'espace est réduit.	Pareillement en électricité, une résistance agit comme un obstacle au courant électrique.

La première conséquence est la limitation de la quantité d'eau pouvant circuler dans cet étranglement et ainsi dans tout le circuit.	**La première conséquence causée dans une résistance électrique est la limitation de l'intensité du courant.**

La deuxième conséquence est la *CHUTE DE PRESSION*. Le courant d'eau dépense de l'énergie pour passer à travers l'étranglement. Il se retrouve à la sortie avec moins de force.	**La deuxième conséquence entraînée dans une résistance électrique est une *CHUTE DE TENSION*.**

Cette comparaison devrait t'avoir permis de mieux comprendre le sens du mot résistance. De nombreux appareils connus agissent comme une résistance. C'est le cas de tous ceux qui contiennent des éléments chauffants.

La résistance dans une ampoule

On peut ainsi revenir au problème de l'ampoule. Une ampoule de 100 watts donne une plus grande luminosité qu'une ampoule de 25 watts pour la raison suivante. **La résistance est plus faible**. C'est pourquoi une intensité de courant plus élevée peut alimenter cette ampoule. Tu n'as qu'à penser à l'étranglement dans la conduite d'eau. Un étranglement moins important laisse passer une plus grande quantité d'eau. Ainsi, dans notre ampoule, une intensité de courant plus élevée provoque une puissance plus élevée. C'est pourquoi la luminosité est plus grande.

Une formule pour la résistance

L'exemple que nous venons de rappeler nous fait penser à la relation existant entre, d'une part, la **puissance** et, d'autre part, la **tension** et **l'intensité**. Nous avons vu cette relation sous sa forme mathématique dans le module d'acquisition 1.

$$P = V \times I$$

N'y aurait-il pas moyen de trouver une relation mathématique du même genre, qui ferait intervenir la valeur numérique de la **résistance**. Nous avons compris qu'il y avait effectivement une dépendance entre ces trois valeurs lorsque nous avons comparé une résistance à un étranglement dans une conduite d'eau.

Cette relation mathématique s'exprime par la **loi d'Ohm** et elle se présente comme suit.

La différence de tension aux bornes d'un appareil est égale à la valeur de la résistance de cet appareil multipliée par la valeur de l'intensité du courant qui y circule.

$$V = R \times I$$

On peut vérifier bien des cas à l'aide de cette relation. Pour n'en nommer qu'un, il y a celui de l'ampoule électrique. Nous disions que c'est la résistance plus faible et l'intensité de courant plus élevée qui causaient la plus grande luminosité d'une ampoule de 100 watts. Examine la formule! Tu sais que la tension fournie aux deux ampoules est la même soit 110 volts. Nous t'avons dit que l'intensité de courant alimentant l'ampoule de 100 watts est plus élevée (valeur de I plus grande). Que doit-il se produire pour que la valeur de V reste inchangée. La valeur de R doit être diminuée. C'est effectivement ce que nous avions affirmé à la page précédente.

L'unité de résistance

Tu connais déjà les unités de mesure concernant la tension, l'intensité de courant et la puissance. Pourrais-tu les nommer ici?

NOTION	SYMBOLE	UNITÉ DE MESURE	SYMBOLE
TENSION			
INTENSITÉ DE COURANT			
PUISSANCE			

La résistance possède également une unité de mesure. C'est l'**ohm**.

notion: **résistance**
symbole: R
unité: ohm
symbole: Ω

Pour te citer un exemple concret, une ampoule de 100 watts présente une résistance de 120 ohms. Une ampoule de 25 watts offre une résistance de 480 ohms. C'est pourquoi une intensité de courant plus élevée peut circuler dans la première ampoule. Le courant reçoit une opposition moins forte. Si tu le veux, tu peux calculer toi-même la résistance d'une ampoule de 60 watts.

Pas de résistance !

Peux-tu imaginer maintenant ce qui se produit si l'on tente l'expérience suivante ? Nous retirons la résistance du circuit et la remplaçons par un **bout de fil** de façon à permettre quand même la circulation du courant.

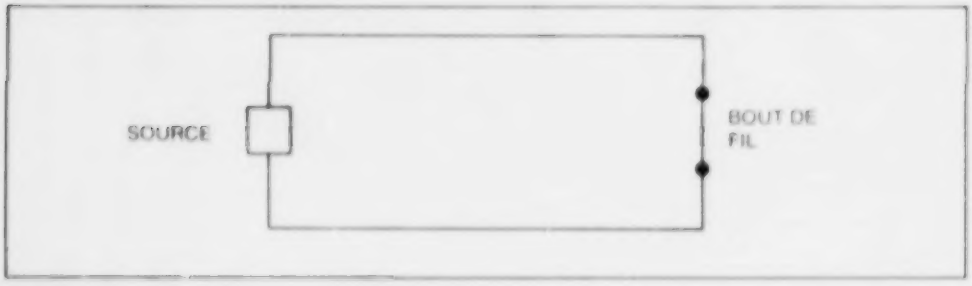


Figure 13 : Remplacement de la résistance par un fil.

Tu sais que le courant électrique provient de la source avec beaucoup de force, beaucoup d'énergie. **Il possède une tension élevée**. Cependant, dans la figure 13, l'énergie n'est pas captée par une résistance. **Il n'y a aucun appareil électrique pour utiliser cette énergie**. Le courant poursuit ensuite son chemin vers la source. Mais il y a là un problème ! C'est un problème qui a déjà été évoqué à la fin du cahier précédent. Voyons ensemble ce qui se produit.

La source continue à fournir de l'énergie. **Et celle-ci n'est pas utilisée !** L'accumulation d'énergie provoque alors ce qu'on appelle un **court-circuit**. Il t'est peut-être déjà arrivé de vivre cette mauvaise expérience soit à l'atelier, soit à la maison. On doit à ce moment remplacer un **fusible**. Cet élément est présent dans un circuit pour contrôler la quantité de courant, car tu dois comprendre que les fils électriques ne peuvent permettre une telle accumulation d'énergie. Le fusible empêche le fil de se détériorer.

Tous les circuits électriques comportent de tels systèmes de sécurité. Par exemple, toutes les prises de courant en place chez toi sont connectées à un fusible. Tu doit être très prudent en réparant de telles prises.

Si par malheur les deux fils se touchent, un surplus de courant se produit automatiquement. Le fusible « saute » et provoque l'arrêt du courant. C'est le même phénomène que celui illustré à la figure 13. Les deux bornes d'un appareil ou d'une résistance ne doivent pas être réunies.

Tu peux observer un tel phénomène lorsque tu soudes à l'atelier. L'arc électrique se comporte comme une résistance. Tu ne dois donc pas rejoindre

les deux bornes disposées de chaque côté de cet arc. Nous parlons de l'électrode et de la pièce. Si tu abaisses ton électrode sur la pièce, tu produis un **court-circuit**.

Tu vois qu'il est important pour toi de comprendre la notion de résistance. C'est un élément présent dans tout circuit électrique. Il existe cependant d'autres éléments. Ce sont les bobines et les capacités. La notion de résistance peut s'élargir pour inclure ces nouveaux éléments. On parle alors **d'impédance**, une notion qui englobe tous les éléments d'un circuit autres que la source.

Pour l'instant, limitons-nous à la notion de résistance d'un appareil. De façon à vérifier si tu as compris cette notion, essaie de répondre aux questions suivantes.

- *Les charges électriques sont-elles plus faibles à l'entrée ou à la sortie d'un appareil électrique ?*
- *Quelle est la formule mathématique reliant la résistance à la tension et à l'intensité de courant ?*
- *Dans quelles circonstances un court-circuit se produit-il dans un circuit électrique ?*

SAVAIS-TU QUE...

G.S. OHM (1787-1854), PHYSICIEN ALLEMAND, FUT LE PREMIER À FORMULER LE RAPPORT ENTRE LA TENSION, LE COURANT ET LA RÉSISTANCE D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE. LA LOI PORTANT SON NOM FUT PUBLIÉE EN 1827.

MODULE DE PROLONGEMENT 1

LA COMBINAISON EN PARALLÈLE

Qu'est-ce qu'une résistance ?

Nous t'avons présenté dans le deuxième module d'acquisition la notion de **résistance**. C'est un élément faisant partie de tout circuit électrique qui s'oppose à la circulation du courant. Cette opposition sert alors à transférer une quantité d'énergie à l'extérieur du circuit. Un effet peut être produit grâce à cette énergie. Par exemple, **l'arc électrique agit comme une résistance**. La quantité d'énergie empruntée dans ce cas sert à créer la chaleur nécessaire pour la fusion de ta pièce.

Plusieurs appareils électriques utilisés à la maison ou à l'atelier agissent comme des résistances. Cependant, ils peuvent être très nombreux à fonctionner en même temps. Imagine par exemple ce qui se produit à ton atelier. Plusieurs postes de soudage sont en activité au même moment. **Comment le courant desservi par l'entrée électrique se comporte-t-il dans une telle situation ?** Pour comprendre ce phénomène, rappelle-toi la comparaison du module précédent.

Une résistance dans un circuit électrique peut être comparée à un *ÉTRANGLEMENT* dans une conduite d'eau.

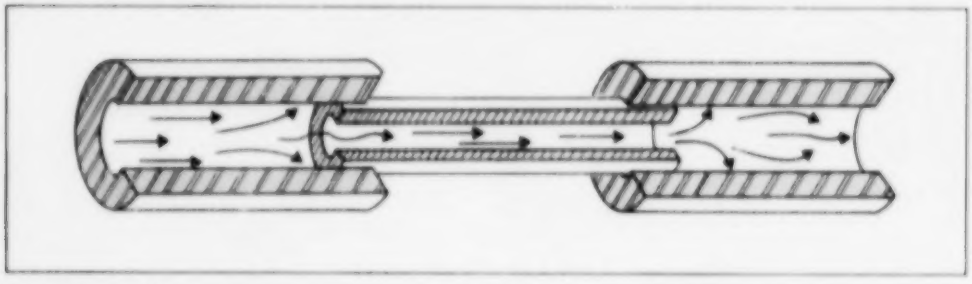


Figure 14 : Étranglement dans une conduite d'eau.

Plusieurs résistances à la fois !

Que se produirait-il si l'on ajoutait un autre étranglement dans cette conduite d'eau ? Est-ce que cela pourrait te permettre de comprendre la conséquence engendrée par l'addition d'une deuxième résistance dans un circuit électrique ? Voyons si cela est possible.

Examinons dans un premier temps la conduite d'eau avec un étranglement. Nous te présentons à la droite de ce schéma une comparaison avec le circuit électrique.

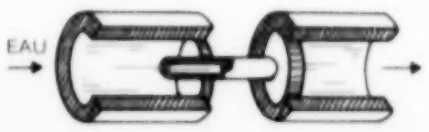
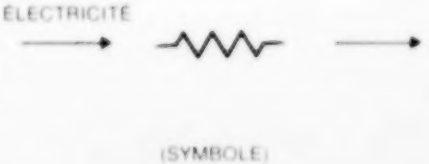
CIRCUIT D'EAU	CIRCUIT ÉLECTRIQUE
UN ÉTRANGLEMENT	UNE RÉSISTANCE
	
l'eau a seulement un chemin par lequel elle peut passer	l'électricité a seulement un chemin par lequel elle peut passer

Figure 15 : Comparaison «un étranglement — une résistance».

Cette situation a déjà été étudiée dans le module précédent. Nous venons de te la rappeler pour que tu comprennes mieux ce qui suit.

Examinons dans un deuxième temps la conduite d'eau avec deux étranglements. Ceci pourra te permettre de visualiser ce qui se produit lorsque deux résistances sont en place dans un même circuit. Imagine par exemple ces deux résistances comme pouvant être deux postes de soudage alimentés par la même entrée électrique. Le mode de branchement de deux résistances tel que le montre la figure 16 est appelé **branchement en parallèle**.

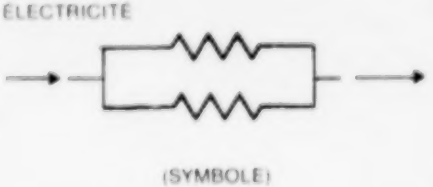
CIRCUIT D'EAU	CIRCUIT ÉLECTRIQUE
DEUX ÉTRANGLEMENTS	DEUX RÉSISTANCES
	
l'eau a maintenant deux chemins par lesquels elle peut passer	l'électricité a maintenant deux chemins par lesquels elle peut passer

Figure 16 : Comparaison «deux étranglements — deux résistances» en parallèle

Les conclusions à retenir

Qu'est-ce que le schéma de la figure 16 (partie gauche) te permet de conclure ? Essaie de répondre à cette question en considérant qu'il y a maintenant deux chemins disponibles pour la circulation de l'eau.

Un circuit d'eau présentant deux étranglements au lieu d'un seul laisse passer une plus grande quantité d'eau si ces deux étranglements sont en parallèle.

Dis-toi qu'une conclusion semblable peut être émise pour ce qui est du circuit électrique.

Un circuit électrique présentant deux résistances au lieu d'une seule laisse passer une plus grande quantité de courant (ou intensité) si ces deux résistances sont branchées en parallèle.

D'après cette conclusion, que peut-on dire de la **résistance globale** d'un tel circuit électrique ? Étant donné qu'une plus grande quantité de courant peut circuler dans ce circuit, le cheminement en est facilité.

Un agencement de résistances en parallèle dans un circuit électrique provoque une *RÉSISTANCE TOTALE PLUS FAIBLE*.

C'est pourquoi une **quantité de courant plus élevée** circule dans les fils électriques menant à plusieurs appareils branchés sur la même prise. La résistance totale est plus faible. N'oublie pas que nous parlons ici du fil électrique principal. Au niveau des appareils électriques, la quantité de courant se divise et alimente chacun de ces appareils.

En résumé, qu'est-ce qui permet l'alimentation de plusieurs appareils électriques en même temps ? La réponse est une **plus grande quantité de courant** pour compenser une **valeur de résistance totale plus faible**. Fais donc bien attention de ne pas confondre ces deux énoncés.

Un accident fréquent !

Faire fonctionner plusieurs appareils électriques sur un même circuit peut parfois causer des accidents. En effet, il t'est peut-être déjà arrivé de voir un fusible « sauter » à cause d'une surcharge d'appareils sur une même prise.

Nous t'avons parlé de cet élément qu'est le **fusible** dans le module précédent. C'est un système de sécurité qui limite l'intensité de courant circulant dans les fils électriques.

UN FUSIBLE EST UN ÉLÉMENT QUI BRÛLE SI L'INTENSITÉ DU COURANT QUI LE PARCOURT EST TROP ÉLEVÉE. **Cela produit l'interruption du courant.**

Tu sais déjà que les appareils électriques agissent comme des résistances. Tu devrais également avoir compris qu'un ensemble de résistances disposées en parallèle dans un même circuit permet le passage d'une plus grande quantité de courant dans les fils électriques principaux.

C'est à ce moment que le fusible accomplit son travail. Si le courant atteint une valeur trop élevée, cela peut être dangereux ! Les fils peuvent alors se détériorer et même fondre. Le fusible prévient cela en se détériorant lui-même. Le courant électrique est ainsi coupé et on doit remplacer le fusible. Il existe également un mécanisme appelé disjoncteur qui joue le même rôle sauf qu'il n'a pas à être remplacé. C'est un genre d'interrupteur qui coupe automatiquement le courant si l'intensité de celui-ci devient trop élevée. Le circuit peut être rétabli après avoir résolu le problème de la surcharge. Ce mécanisme est de plus en plus populaire aujourd'hui non seulement dans les entreprises mais également dans les maisons privées.

Tu vois que la compréhension de la **combinaison de résistances** peut t'aider à mieux saisir ce qui se produit dans un circuit électrique. C'était le but de ce module. Nous terminons ici avec quelques questions-synthèses.

- *Une résistance dans un circuit électrique peut être comparée à un* [redacted] *dans une conduite d'eau.*
- *Un agencement de plusieurs résistances en parallèle dans un même circuit électrique offre une nouvelle résistance totale. Celle-ci est-elle plus élevée ou plus faible que la valeur des résistances individuelles ?*
- *Plusieurs résistances agencées en parallèle dans un même circuit permettent-elles une intensité de courant plus élevée ou plus faible?*

SAVAIS-TU QUE...

L'ÉLÉMENT MÉTALLIQUE D'UN FUSIBLE PEUT ÊTRE FABRIQUÉ PAR EXEMPLE AVEC DE L'ALUMINIUM, DU CUIVRE ÉTAMÉ OU DU NICKEL. SACHANT QUE LES POINTS DE FUSION DE CES TROIS MATÉRIAUX SONT RESPECTIVEMENT 660 °C, 1083 °C ET 1452 °C, IL EST FACILE D'IMAGINER QUE DES VALEURS D'INTENSITÉ DE COURANT DIFFÉRENTES FERONT SAUTER CES FUSIBLES.

LA COMBINAISON EN SÉRIE

Un premier type de combinaison de résistances

Le module précédent devrait t'avoir aidé à visualiser comment réagissent plusieurs appareils électriques branchés à une même source de courant. La résistance globale de ces appareils devient plus faible que la résistance d'un seul appareil. Par conséquent, le courant électrique demandé par tous ces appareils augmente. L'intensité de ce courant est la somme de tous les courants exigés par chaque appareil.

Représentons les appareils par des résistances électriques. Le mode de branchement de ces appareils peut être illustré par la figure suivante.

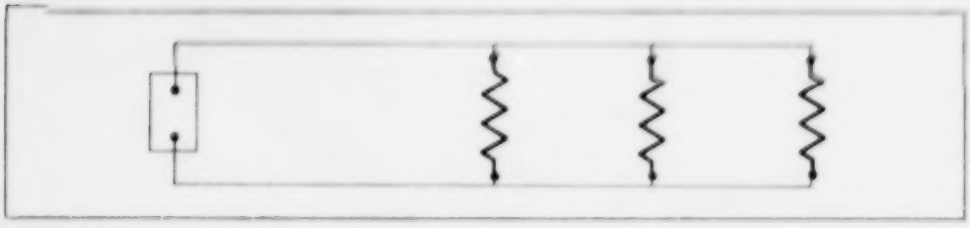


Figure 17 : Trois appareils branchés en parallèle.

Dans un tel montage, la tension fournie par la source apparaît intégralement aux bornes de chaque appareil. Par exemple, si la pile fournit 12 volts, les trois appareils seront soumis à une différence de potentiel de 12 volts. De cette façon, un appareil du groupe ignore la présence des autres. Il fonctionne comme s'il était seul. La seule condition exigée est une source apte à alimenter tous les appareils du groupe. Tous les appareils électriques branchés sur l'entrée électrique du réseau fonctionnent de cette façon. C'est le cas des appareils de soudage à l'atelier ou des ampoules à la maison. Voilà qui résume le mode de branchement **en parallèle** que tu as déjà eu l'occasion d'étudier.

Un deuxième type de combinaison de résistances

Il arrive que le mode de branchement des appareils électriques diffère de celui que nous venons de te présenter. Par exemple, c'est le cas des ampoules d'un « jeu de lumières » d'un arbre de Noël. Prenons seulement trois ampoules et regardons ensemble de quelle façon on peut représenter le montage de ce circuit. Schématisons encore une fois les éléments qui reçoivent l'énergie électrique, dans ce cas les ampoules, par des résistances.

Figure 18 : Ampoules branchées en série.

À l'examen de cette figure, on constate une première chose. C'est que la quantité de courant fournie par la source doit circuler à travers les trois résistances. De plus, la tension générée au départ ne se retrouve pas de façon intégrale au niveau de ces trois résistances. Elle se répartit entre les trois résistances contrairement au branchement en parallèle. Rappelle-toi qu'avec un tel branchement, la tension de la source se transmettait à chaque résistance. Ce nouveau mode de branchement, représenté à la figure 18, s'appelle la combinaison ***en série****.*

Une résistance dans un circuit d'eau

De façon à mieux comprendre la notion de résistance en série, rappelle-toi un moment la comparaison du module précédent. La résistance électrique était étudiée en même temps qu'un étranglement dans une conduite d'eau. Un courant d'eau éprouve de la difficulté à circuler dans un tel élément. L'étranglement lui impose une résistance! Il se produit une chute de pression appréciable ce qui rend la pression plus faible à la sortie de l'étranglement. Utilisons cette même comparaison pour introduire un deuxième étranglement, placé en série avec le premier, dans la conduite d'eau.

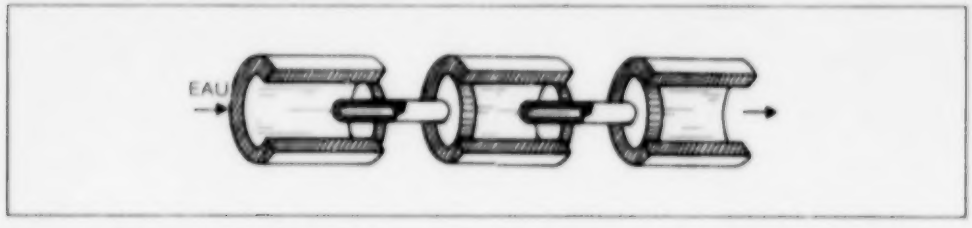


Figure 19 : Deux étranglements en série dans une conduite d'eau.

Tu sais déjà que l'eau éprouve de la difficulté à passer dans le premier étranglement. Elle aura à affronter le même obstacle au niveau du deuxième étranglement. La chute de pression se produit donc en deux étapes, une pour chaque étranglement. Il est bien évident que l'addition de nouveaux étranglements amplifie ce phénomène.

Revenons maintenant à la situation réelle qui se produit dans un circuit électrique de façon à compléter notre comparaison. Examine la figure 20 qui montre deux résistances en série et compare-la à la figure 19.

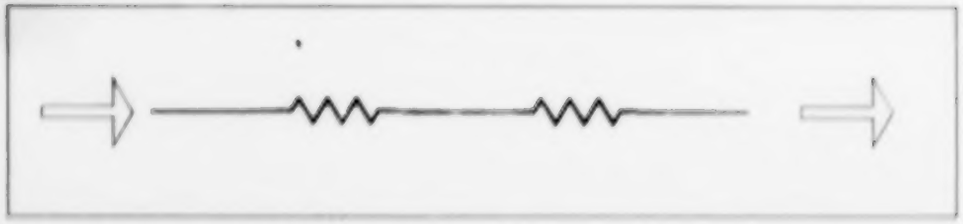


Figure 20 : Deux résistances en série.

Chaque résistance provoque une chute de tension de sorte que la tension générée au départ par la source se partage entre les résistances. Tu devines que chaque résistance voit à ses bornes une tension moins élevée que si elle était branchée seule à la source.

De façon à bien comprendre ce qu'implique un tel branchement, rappelle-toi la relation mathématique du module d'acquisition 2 soit la loi d'Ohm. C'est une relation qui unit les valeurs de tension, d'intensité de courant et de résistance dans une même formule:

$$V = RI$$

Comme tu viens de le lire, l'agencement de deux résistances en série implique la répartition de la tension entre ces deux résistances. Tu peux deviner que le courant circulant à travers une résistance sera plus faible. En effet, la formule nous montre que pour une résistance constante et une tension diminuée, l'intensité de courant prend également une valeur plus petite. Examine bien cette formule et dis-toi que l'égalité V = RI doit toujours être respectée. D'après ce que l'on vient de dire, tu peux conclure avec nous que le courant électrique est plus faible lorsqu'il fait face à une combinaison de résistances en série qu'il ne l'est avec une seule résistance dans le circuit.

Un circuit électrique présentant deux résistances au lieu d'une seule laisse passer une plus petite quantité de courant (intensité) si ces deux résistances sont branchées en série.

D'après cette conclusion, que peut-on dire de la **résistance globale** d'un tel circuit électrique ? Étant donné qu'une plus faible quantité de courant circule dans ce circuit, le cheminement est donc rendu plus difficile. La résistance imposée est plus importante.

Un agencement de résistances en série dans un circuit électrique provoque une *RÉSISTANCE TOTALE PLUS GRANDE*.

Des fils de soudage trop longs !

Dans l'exercice de son métier, le soudeur doit parfois atteindre des endroits éloignés de la source de courant pour effectuer un travail quelconque. Il utilise pour cela de longs fils électriques. Imagine-toi dans une circonstance du même genre où tu dois augmenter la longueur des fils de ton appareillage pour réaliser une soudure. Selon toi, est-ce que cela va affecter le rendement du poste de soudage ? Regardons ensemble ce problème.

Dans un premier temps, tu dois être informé d'une caractéristique importante des conducteurs électriques. Tu apprendras dans un cahier à venir que les fils électriques opposent une faible résistance au passage du courant électrique. En d'autres mots, même le cuivre, qui est considéré comme excellent conducteur électrique, n'est pas un conducteur parfait. Cet effet de résistance est donc valide pour tous les conducteurs électriques. Les atomes structurant le métal du fil électrique sont les éléments qui créent la résistance.

Lorsque les fils sont courts, cette résistance n'a presque aucun effet. La tension générée par la source se transmet presque intégralement au niveau de l'arc. Avec des fils longs, cette résistance devient plus importante. Quel effet cela engendre-t-il sur l'arc ? Pour répondre à cette question, il convient d'étudier deux situations : les fils courts et les fils longs.

La figure suivante montre une représentation de ces deux situations. Les fils sont schématisés par une faible résistance et l'arc par une forte résistance.

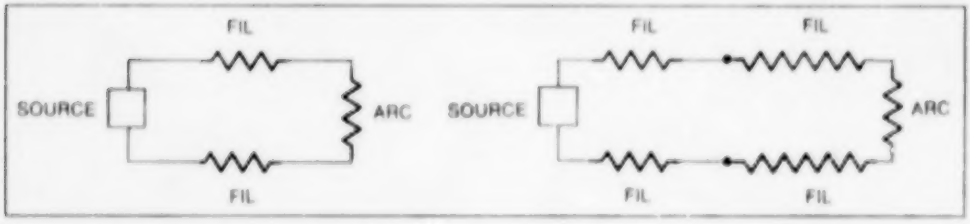


Figure 21 : Montage à fils courts et à fils plus longs

La figure présente d'abord à gauche un montage utilisant des fils courts, disons des fils de deux mètres de long. Tu devrais réaliser que ce montage ressemble parfaitement à celui de la figure 18. La tension de la source se répartit entre les trois résistances comme il a été dit précédemment. Cependant, comme la résistance des fils est petite, c'est l'arc qui reçoit presque toute la tension.

Allongeons maintenant les fils. La partie droite de la figure illustre le nouveau montage. Suppose que le fil ajouté a une longueur de dix mètres. Comme il est cinq fois plus long que le premier fil, sa résistance est cinq fois plus grande. Cela s'ajoute à la résistance du fil court telle que tracée dans la partie gauche de la figure. Une chute de tension plus élevée se produit à ce moment. Il faut alors ajuster à la hausse la tension de la source afin de pouvoir effectuer le travail de façon similaire à la situation des fils courts.

Un exemple

Considère la situation suivante où un poste de soudage fournit 200 ampères sous une tension de 10 volts lorsque l'arc est amorcé. Applique la loi d'Ohm telle que tu l'as apprise au module d'acquisition 2 de façon à obtenir la valeur de la résistance de l'arc.

Loi d'Ohm: $V = RI$
Valeur de R isolée: $R = V/I$
Exemple: $R = V/I = 10/200 = 1/20$ ohm ou $1/20\Omega$ ou 0,05 Ω

La résistance de l'arc est donc approximativement de 0,05 Ω. Supposons de gros fils dont la résistance est de 0,0003 ohm par mètre (Ω/m) c'est-à-dire trois dix-millièmes d'ohm par mètre. Examinons ensemble les deux cas représentés par la figure 21.

Premier cas: Les fils ont une longueur de 2 mètres. Cela signifie qu'il y a 4 mètres de fils. La résistance totale des fils est de (0,0003 ohm/mètre × 4 mètres) 0,0012 ohm. Compare maintenant cette valeur de résistance à celle de l'arc. Tu conclus que les fils représentent environ 2,5% (0,0012/0,05) de la résistance de l'arc.

Deuxième cas: On ajoute 10 mètres à chaque fil. La longueur totale devient alors 24 mètres ce qui crée une résistance de (0,0003 × 24) 0,0072 ohm. Cette valeur représente 14% de la résistance de l'arc.

D'après ce calcul, tu devines qu'il ne faut pas trop allonger les fils de ton poste de soudage. En effet, il arrive un moment où ces fils opposent une résistance trop élevée par rapport à l'arc. Dans ces conditions, la source de courant ne peut alimenter suffisamment le système. L'arc ne peut fonctionner correctement. Le diamètre des fils est un autre facteur à considérer. Un diamètre plus petit produit une résistance plus élevée pour une même longueur de fil. Les valeurs d'intensité de courant en jeu pourront t'aider à faire un choix judicieux concernant le diamètre du fil électrique à utiliser. En résumé, il est important d'essayer de t'habituer à reconnaître les caractéristiques des fils électriques pour tirer le meilleur parti possible du matériel dont tu disposes.

SAVAIS-TU QUE...

LA RÉSISTANCE D'UN FIL DE CUIVRE (304 MÈTRES À 25°C)
PEUT VARIER BEAUCOUP SELON LA JAUGE DE CE FIL.
PAR EXEMPLE, UN FIL NO 10 (0,26 CM)
OFFRE UNE RÉSISTANCE D'ENVIRON 1 OHM
TANDIS QU'UN FIL NO 30 (0,026 CM)
PRÉSENTE UNE VALEUR
CENT FOIS PLUS ÉLEVÉE (105 OHMS).

FICHE DE SYNTHÈSE

Le circuit électrique élémentaire

1. La source est la cause du courant électrique.
2. Le milieu conducteur est la voie de circulation de ce courant.
3. La charge est l'élément qui consomme l'énergie transportée par le courant électrique.

La puissance

La puissance implique à la fois le travail effectué et le temps requis pour réaliser ce travail. La puissance dépend de la tension et de l'intensité du courant :

$$P = VI$$

L'unité de puissance est le watt. Parfois, on utilise le horsepower (hp). L'équivalence est 1 hp = 746 W.

La résistance

La résistance est un élément qui s'oppose au passage du courant électrique. Une relation mathématique exprime le rapport entre la tension, l'intensité de courant et la résistance. On l'appelle la loi d'Ohm.

$$V = RI$$

L'unité de résistance est l'ohm symbolisé par oméga (Ω).

La combinaison de résistances en parallèle

Un tel branchement provoque la transmission totale de la tension de la source à chaque résistance. La résistance globale du groupe de résistances est plus faible que les résistances individuelles.

La combinaison de résistances en série

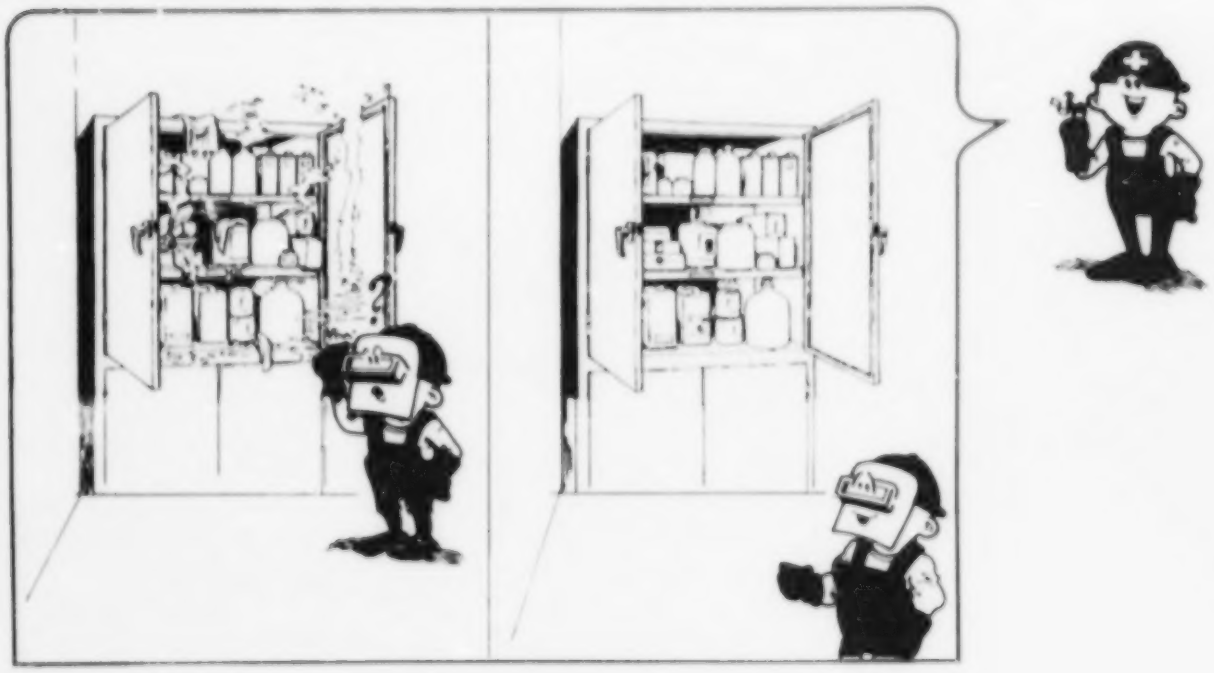
Un tel branchement implique la circulation du courant débité par la source à travers chacune des résistances. La résistance globale de l'ensemble est plus élevée que les résistances individuelles.

La facture d'électricité

Nous voulons ici répondre au problème posé dans le module d'introduction. Il s'agissait de savoir si un appareil fonctionnant sur le 220 volts plutôt que sur le 110 volts entraine une économie dans la consommation d'électricité.

Il faut d'abord connaître de quelle façon s'exprime la quantité d'énergie dépensée. L'examen d'une facture d'électricité nous fait constater que le montant facturé dépend du nombre de kilowatt-heure. Cela signifie que l'on paie un montant proportionnel à la puissance multipliée par le temps d'opération. Par exemple, une chaufferette de 2000 watts fonctionnant sur le 110 volts entrainera les mêmes coûts qu'une chaufferette de 2000 watts fonctionnant sur le 220 volts. La confusion provient de la « fausse croyance » qui prétend qu'un courant plus faible entraîne une consommation plus faible et donc une facturation moins élevée.

Il est vrai qu'un appareil opérant à partir du 220 volts consomme moins de courant qu'un appareil similaire opérant sur le 110 volts. Mais le premier exige une tension plus élevée que le second. La puissance (qui est le produit des valeurs de tension et d'intensité) est la même. Par conséquent, l'énergie consommée est la même. Le paiement à effectuer se base sur cette énergie consommée et non sur la valeur du courant.



FICHE D'ÉVALUATION

Encercle la lettre correspondant à la meilleure réponse.

1. Un circuit électrique élémentaire comprend trois parties essentielles. La première constitue la source de courant, la deuxième le milieu conducteur (les fils électriques) et la troisième est appelée :
   a) le moteur électrique.
   b) la charge.
   c) la résistance.

2. Parmi les trois énoncés, lequel exprime correctement la méthode pour mesurer la puissance d'un moteur d'automobile ?
   a) mesurer le chargement maximum pouvant être tiré par le moteur.
   b) mesurer la vitesse maximale atteinte par l'automobile.
   c) mesurer le temps requis pour atteindre la vitesse de 100 km/heure à partir du repos.

3. Laquelle des trois relations mathématiques suivantes ne représente pas une égalité justifiable ?
   a) $I = P/V$
   b) $I = V/R$
   c) $I = P/R$

4. L'évaluation de la consommation d'énergie électrique d'un appareil doit s'appuyer sur :
   a) le courant consommé par l'appareil.
   b) la tension qui alimente l'appareil.
   c) la puissance générée par l'appareil.

5. Dans tout circuit électrique, quelle est la condition essentielle permettant la circulation du courant ?
   a) le circuit doit être ouvert.
   b) le circuit doit être fermé.
   c) les fils doivent être isolés.

6. Parmi les rôles suivants, lequel ne peut pas être associé à une résistance électrique ?
   a) la résistance diminue la vitesse du courant électrique.
   b) la résistance entraîne une chute de tension.
   c) la résistance limite l'intensité du courant électrique.

7. Considère une résistance électrique branchée à une battterie. On ajoute au circuit une deuxième résistance en parallèle avec la première. Il en résulte...
   a) une augmentation du courant débité par la batterie.
   b) un changement de la tension de la batterie.
   c) un partage du courant initial sans changement pour la batterie.

8. Deux résistances branchées en parallèle sont équivalentes à une seule résistance. Cette dernière a une valeur...
   a) plus grande qu'une des deux résistances initiales.
   b) égale à la plus grande des deux résistances initiales.
   c) plus petite qu'une des deux résistances initiales.

9. Deux résistances sont branchées en série et alimentées par une batterie. Laquelle des trois affirmations suivantes est correcte ?
   a) Une partie du courant envoyé par la batterie est consommée dans la première résistance puis dans la deuxième; le reste du courant revient à l'autre borne de la batterie.
   b) le courant à la sortie d'une borne de la batterie revient intégralement à l'autre borne.
   c) la tension de la batterie apparaît totalement aux bornes de chacune des deux résistances.

10. Les fils dans un circuit de soudage sont considérés comme de petites résistances. On peut dire que l'arc et les fils sont branchés...
    a) en série.
    b) en parallèle.
    c) en série et en parallèle.

MODULE DE COMPLÉMENT

LES APPAREILS DE MESURE

Les quatre notions d'électricité du soudeur

Tu as eu l'occasion d'apprendre plusieurs notions d'électricité jusqu'à maintenant. Le cahier 1 t'a d'abord permis de mieux comprendre ce que sont la **tension** et l'**intensité du courant**. Puis ce cahier t'a fait visualiser ce que signifient la **puissance** et la **résistance.**

Tu sais maintenant que la tension et l'intensité du courant sont deux caractéristiques du courant électrique que tu utilises chaque jour. Un ajustement de ces deux valeurs sur un poste de soudage permet la modification de la force du courant ou de la quantité de courant.

TENSION → FORCE DU COURANT

INTENSITÉ DE COURANT → QUANTITÉ DE COURANT

Tu sais également que la **puissance** et la **résistance** sont deux caractéristiques de n'importe quel appareil électrique que tu utilises soit à la maison soit à l'atelier. Ces deux valeurs tiennent compte du rendement de l'appareil. En d'autres mots, la résistance offerte par l'appareil permet la circulation d'une quantité de courant plus ou moins grande. Cette valeur d'intensité entraîne finalement une puissance propre à chaque appareil électrique.

RÉSISTANCE FAIBLE →	*INTENSITÉ DE COURANT ÉLEVÉE*	*→ PUISSANCE ÉLEVÉE*
RÉSISTANCE FORTE →	*INTENSITÉ DE COURANT FAIBLE*	*→ PUISSANCE FAIBLE*

C'est en ayant une bonne compréhension de ces quatre notions que tu pourras mieux travailler sur les différents appareils électriques présents à la maison ou à l'atelier. Tu pourras même tenter certaines réparations tout en respectant les mesures de sécurité. Entre autres, **n'oublie jamais de « couper le courant »** avant de démonter un appareil quelconque. Certains de ces appareils permettent des valeurs de tension, d'intensité de courant ou de puissance très élevées ce qui peut causer des accidents si tu n'es pas assez prudent.

Des valeurs numériques !

Nous t'avons parlé depuis le début de ce module des valeurs plus ou moins élevées rattachées à la tension, à l'intensité de courant, à la puissance et à la résistance. **Toutes ces valeurs peuvent être exprimées de façon numérique**. La connaissance de ces valeurs numériques est importante puisqu'elle oriente tous ceux qui travaillent sur un circuit électrique. Tu fais partie de ces gens !

Par exemple, une valeur de puissance d'arc est nécessaire pour effectuer telle soudure. Tu auras donc à ajuster cette valeur en conséquence. Les valeurs d'intensité de courant sont également des valeurs ajustables qui dépendent du niveau de fusion à obtenir lors du soudage. Tu peux faire ces ajustements en manipulant les boutons de contrôle disposés sur ton poste de soudage.

Les appareils de mesure

Il existe des appareils nommés **appareils de mesure** destinés à mesurer numériquement les valeurs associés à la tension, à l'intensité de courant, à la puissance et à la résistance. Ces appareils sont disponibles de façon individuelle et peuvent être branchés sur tout circuit électrique. Ils peuvent même être déjà intégrés dans un autre appareil électrique **comme c'est le cas de ton poste de soudage**. Nous te présentons ces appareils dans les pages qui suivent.

1) MESURE DE LA TENSION — **Le voltmètre** est un instrument qui mesure la tension dans un circuit électrique. Rappelle-toi que la tension est la force avec laquelle le courant est poussé.

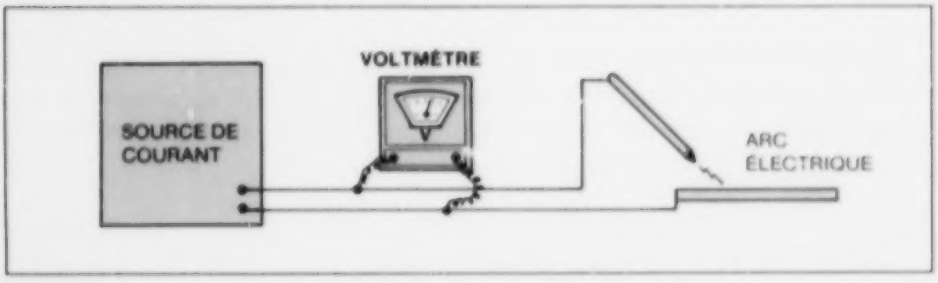


Figure 21 : Branchement d'un voltmètre dans un circuit.

notion:	**tension**
symbole:	**V**
unité de mesure:	**volt**
symbole:	**V**

Il est important de bien brancher le voltmètre dans un circuit. Remarque que les **bornes doivent être disposées de chaque côté de l'appareil électrique**. Par exemple, la figure 21 t'indique une connexion de chaque côté de l'arc électrique. On appelle ce genre de connexion un **branchement en parallèle**.

2) MESURE DE L'INTENSITÉ DU COURANT — **L'ampèremètre** est un instrument qui mesure **l'intensité** du courant électrique. Comme nous l'avons déjà vu, cette mesure exprime la quantité de courant électrique par unité de temps.

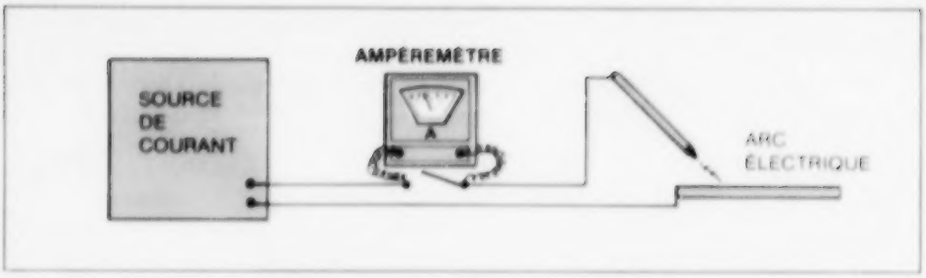


Figure 22 : Branchement d'un ampèremètre dans un circuit.

notion:	**intensité du courant**
symbole:	**I**
unité de mesure:	**ampère**
symbole:	**A**

Encore une fois, il est important de brancher l'ampéremètre de façon adéquate. Le **circuit est alors ouvert** comme l'indique la figure 22. Ceci permet au courant d'entrer par une borne et de sortir par l'autre. La quantité de courant peut ainsi être mesurée. On appelle ce genre de connexion un **branchement en série**.

3) MESURE DE LA PUISSANCE — **Le wattmètre** est un instrument qui mesure la **puissance** (ou le wattage*) du courant électrique. Cet appareil n'est pas toujours présent car, en fait, il n'est pas essentiel. En effet, **la valeur de la puissance est égale à la valeur de la tension multipliée par la valeur de l'intensité du courant**. Nous avons vu cela dans le module d'acquisition 1. Cette égalité est exprimée dans la relation mathématique suivante.

$$P = V \times I$$

puissance = tension × intensité de courant
(watts) (volts) (ampères)

On pourra donc déterminer la puissance à l'aide de deux autres appareils soit le voltmètre et l'ampéremètre. Prenons un exemple concret, celui de ton poste de soudage. Sur la plupart des modèles, les valeurs de voltage et d'ampérage te sont indiquées sur les cadrans de contrôle. Cela signifie que les deux appareils de mesure correspondants sont intégrés dans le poste. La connaissance de ces deux valeurs te permet ensuite de calculer la puissance développée par ton arc de soudage.

Rappel (module d'acquisition 1)
La multiplication des deux valeurs indiquées sur le voltmètre et l'ampèremètre permet d'obtenir la puissance en jeu.

* ce terme est un anglicisme utilisé dans les ateliers de soudage

Par exemple, si tu as une tension de 20 volts et une intensité de 100 ampères, tu as donc une puissance de 20 × 100 = 2000 watts dans ton circuit de soudage. On écrit souvent 2 kilowatts au lieu de 2000 W car le préfixe kilo signifie « multiplié par 1000 ».

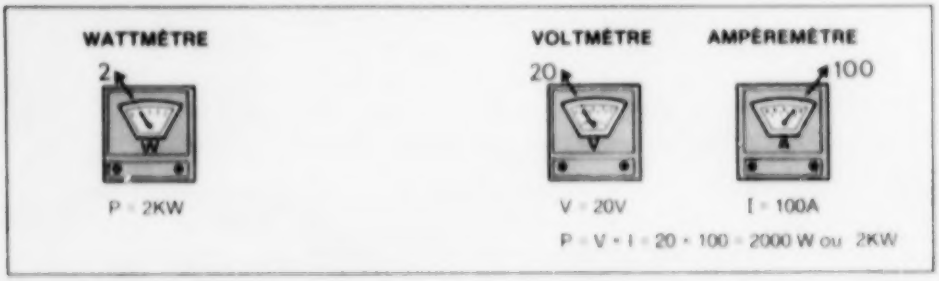


Figure 23 : Calcul de la puissance à l'aide de la tension et de l'intensité de courant.

notion:	**puissance**
symbole:	**P**
untié de mesure:	**watt**
symbole:	**W**

4) MESURE DE LA RÉSISTANCE — **L'ohmmètre** est un instrument qui mesure la **résistance** imposée par un appareil électrique. Tout ce qui fonctionne à l'électricité présente en fait une certaine résistance électrique. Cette dernière est mesurée de façon indépendante du circuit. Un ohmmètre fournit un courant fixe et mesure **la valeur résistive en ohms**.

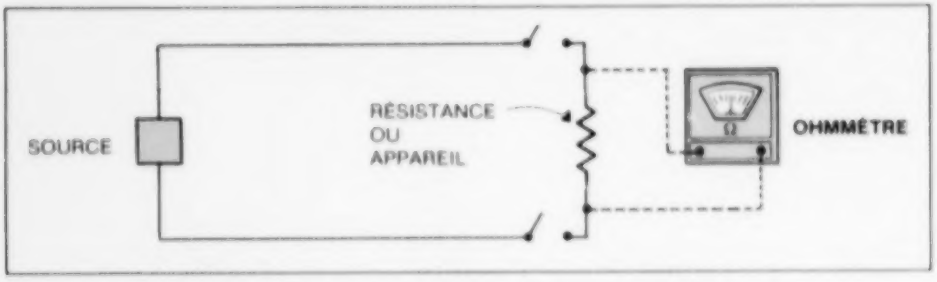


Figure 24 : Branchement d'un ohmmètre dans un circuit.

notion:	**résistance**
symbole:	**R**
unité de mesure:	**ohm**
symbole:	**Ω (oméga)**

En résumé, il existe **quatre appareils de mesure** pouvant être intégrés dans un circuit électrique. À l'atelier, la source de courant alimentant ton circuit de soudage est souvent munie d'un voltmètre et d'un ampéremètre. Des instructions différentes te seront données selon les types de soudures et les genres de matériaux en cause. Tu devras ajuster ton poste de soudage en conséquence.

Pour récapituler ce que tu viens de voir au sujet des appareils de mesure, refais le tableau suivant dans ton cahier d'exercices et essaie de remplir les cases vides.

NOTION	SYMBOLE	APPAREIL	EXEMPLE	UNITÉ	SYMBOLE
TENSION			10		
INTENSITÉ			5		
PUISSANCE					
RÉSISTANCE					

Les appareils de mesure peuvent être intégrés dans un appareil électrique. Nous t'avons déjà souligné ce point. Cependant, il existe également un appareil de mesure pouvant effectuer trois fonctions. On l'appelle le **multimètre**. Il peut être très utile à l'atelier comme à la maison. Ces trois fonctions sont la mesure du voltage, de l'ampérage et de la résistance. **Trois appareils de mesure sont donc intégrés dans un seul**. De nombreux bricoleurs ont cet appareil à portée de la main. Si tu veux réparer ou bricoler des objets ou des circuits fonctionnant à l'électricité, nous te conseillons l'achat d'un multimètre.

SAVAIS-TU QUE...

LES TENSIONS REQUISES POUR LE SOUDAGE À L'ARC SONT FAIBLES ET PEUVENT INCITER À LA MANUTENTION IRRÉFLÉCHIE DE DIFFÉRENTES PIÈCES OU MATÉRIAUX. LE SOUDEUR DOIT TOUJOURS GARDER À L'ESPRIT LES DANGERS ET RISQUES POSSIBLES AFIN DE POUVOIR MIEUX LES ÉVITER.

MODULE D'EXERCICES [redacted]

1. En t'aidant des formules mathématiques apprises dans ce cahier, calcule les valeurs inconnues suivantes.

   a) *Une ampoule de 1500 watts alimentée par une tension de 110 volts.*
   courant: [redacted]

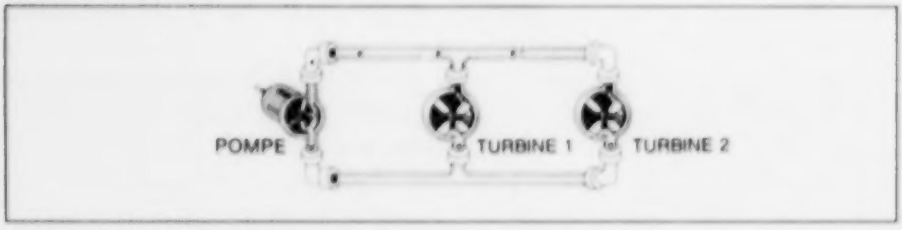
   b) *Un moteur opérant sous une tension de 220 volts qui consomme un courant de 7 ampères.*
   puissance en watts: [redacted]

   c) *Un poste de soudage alimenté par un courant de 10 ampères sous une tension de 220 volts.*
   puissance en watts: [redacted]

   d) *Un moteur développant une puissance de 15 hp.*
   puissance en watts: [redacted]

2. Examine attentivement les circuits d'eau que nous te présentons avant de répondre aux questions.

   a)



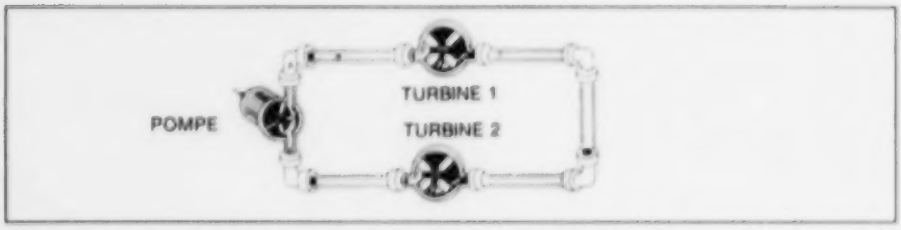
   Selon toi, est-ce que la turbine 1 tourne ?

   Et la turbine 2 ?

   Décris comment l'eau chemine dans les tuyaux.

   Par un rapprochement avec ce que tu as appris dans les deux modules de prolongement de ce cahier, dis-nous de quelle façon les deux turbines sont branchées à la pompe.

   b)



   Selon toi, quelle(s) turbine(s) tourne(nt) dans ce circuit d'eau ?

   Décris comment chemine l'eau dans les tuyaux.

   Comme dans le circuit précédent, dis-nous comment sont connectées les deux turbines à la pompe ?

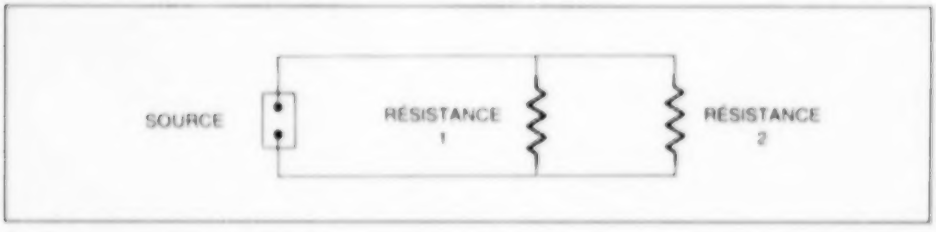
3. Utilise la loi d'Ohm de diverses façons dans le but de découvrir les quantités inconnues.

   a) *Un courant de* [redacted] *ampères circule dans une résistance de 5 Ω alimentée par une source de 110 V.*

   b) *Une résistance branchée à une batterie de 12 V et qui consomme 3 A présente une valeur de* [redacted].

   c) *Un élément chauffant branché sur le 110 V et qui consomme 10 A équivaut à une résistance de* [redacted] *ohms.*

4. Considère le circuit et les données qui suivent. La source développe une tension de 20 volts et les résistances valent chacune 10 ohms.



   Calcule le courant qui traverse chaque résistance et trouve le courant total débité par la source.

   courant résistance 1: [redacted] *courant résistance 2:* [redacted]

   courant total source: [redacted]

   Après avoir obtenu cette dernière valeur du courant, imagine que tu enlèves les deux résistances et que tu les remplaces par une seule résistance. Celle-ci est choisie de manière à obtenir le même courant à travers cette résistance que le courant total obtenu plus haut.

   Quelle serait alors la valeur de cette résistance ? [redacted]

5. *Si un arc électrique consomme 100 ampères sous une tension de 25 volts, quelle est la puissance de l'arc à ce moment ?*

   Cet arc se comporte comme une résistance de [redacted] *ohms. Des fils dont la résistance est de 0,001 Ω/m (ohm par mètre) sont disponibles pour amener le courant électrique à cet arc. Quelle longueur maximum de fil (aller et retour) peux-tu utiliser dans ton montage pour que la résistance totale des fils n'excède pas 10 % de la résistance de l'arc ?*

SOLUTIONS DES EXERCICES

1. a) 1,36 A b) 1540 W c) 2200 W d) 11190 W

2. a) Les deux turbines tournent. L'eau de la pompe se divise à la première jonction en deux courants. Chaque courant actionne une turbine. Les deux courants se regroupent ensuite en un seul courant qui retourne à la pompe. On peut considérer ces deux turbines comme étant connectées en parallèle à la pompe. C'est une disposition qui se compare au branchement en parallèle de deux résistances.

   b) Les deux turbines tournent. L'eau poussée par la pompe doit traverser successivement les deux turbines pour revenir à la pompe. Ces turbines sont connectées en séries d'une manière analogue au branchement en série de deux résistances.

3. a) 22 ampères b) 4 ohms c) 11 ohms

4. Le courant dans chaque résistance est 2 ampères. Le courant total est donc 4 ampères. Pour un courant de 4 A à travers une seule résistance, cette dernière doit valoir 5 ohms.

5. Puissance de l'arc = 2500 watts, résistance de l'arc = 0,25 ohm, longueur totale des fils = 25 mètres.

ISBN 2-920659-22-6

F I N

Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8970231
Centre d'intérêt: 874

Simard, Paul-Aimé.

Phénomènes électriques en soudage / Paul-Aimé Simard, Richard Parent, Hélène Hensler [pour l'Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation]. -- 2e éd. rev. et corr. -- [Sherbrooke] : Editions du CRP, [1989?-1989?]. 5 v. (43 ; 44 ; 51 ; 39 ; 52 p.) : ill. ; 25 cm. -- (Concepts scientifiques de base)Dépouillement: v. 1. Le courant électrique -- v. 2. Le circuit électrique -- v. 3. Les sources de courant -- v. 4. L'arc électrique -- v. 5. Les conducteurs électriques.

ISBN 2-920859-21-8

ISBN 2-920859-22-6

ISBN 2-920859-25-0

ISBN 2-920859-26-9

ISBN 2-920859-27-7

Vedette(s)-secondaire(s): Parent, Richard • Hensler, Hélène • Université de Sherbrooke. Faculté d'éducation

Descripteur(s): Techniques physiques • Formation professionnelle • Manuel scolaire • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Sondage • Electricité

Le manuel a été rédigé à l'intention des élèves en soudage du secondaire professionnel. Il aborde le domaine de l'électricité et expose des notions qui peuvent aider l'élève à mieux comprendre certains gestes qu'il exécute ou certains phénomènes qui se produisent lorsqu'il soude à l'arc électrique. Le manuel traite de cinq grands thèmes: 1. le courant électrique; 2. le circuit électrique; 3. les sources du courant électrique; 4. l'arc électrique; 5. les conducteurs électriques. Dans le but d'aider l'élève à mieux aborder chacun de ces cinq thèmes, on met à sa disposition, au début de chaque thème, des fiches d'information qui indiquent les problèmes abordés dans le thème, les objectifs généraux et spécifiques visés, la démarche à suivre et le contenu du thème divisé en modules de divers types. La plupart des modules se terminent par une série de questions-synthèses. Cette évaluation préliminaire permet à l'élève de vérifier au fur et à mesure son degré de compréhension de la matière.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8779569

EDUQ
8970231-C

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

3e cahier — Les sources de courant

2e édition

Richard Parent
Paul-Aimé Simard
Hélène Hensler

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ÉDITIONS DU CRP

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

3e cahier — Les sources de courant

Richard Parent,
Ingénieur en mécanique et chercheur
à l'Université de Sherbrooke

Paul-Aimé Simard,
Professeur au département de Physique
de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke

Hélène Hensler,
Professeure au département de Pédagogie
de la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

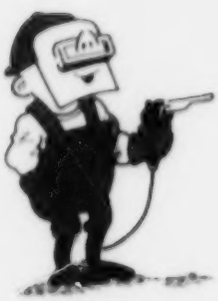
ISBN 2-920859-25-0

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 1er trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

LES SOURCES DE COURANT



- Fiche d'information 4
- Module d'introduction 5
- Module d'acquisition 1 8
  La transformation du courant
- Module de prolongement 1 12
  Le transformateur
- Module d'acquisition 2 17
  La rectification du courant
- Module de prolongement 2 22
  Le redresseur
- Fiche de synthèse 27
- Fiche d'évaluation 29
- Module de complément 1 31
- Module de complément 2 40
- Module d'exercices 46

FICHE D'INFORMATION

Problèmes abordés

Maintenant que tu as parcouru les deux premiers cahiers de cette série, tu devrais mieux comprendre ce qui se produit dans le circuit électrique formé par le poste de soudage. Dans ce troisième cahier, nous te proposons d'aborder une partie bien précise du circuit de soudage, soit les sources de courant. Après l'avoir parcouru, tu pourras répondre à diverses questions telles les deux suivantes.

Tu as souvent entendu dire qu'il est plus avantageux de souder dans des conditions « faible tension - courant élevé » que « haute tension - faible courant ». Pourquoi cela ? De plus, comment peux-tu obtenir une tension de 25 volts pour souder alors que tu sais très bien que ta source est reliée à une entrée électrique de 550 volts ?

Il t'arrive parfois de souder avec du courant continu. Tu obtiens pourtant ce type de courant d'une source reliée au réseau de la compagnie d'électricité qui ne fournit que du courant alternatif ! Comment cela peut-il se produire ?

Objectifs visés

OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de ce cahier est d'identifier les principales composantes d'une source de courant et de reconnaître les caractéristiques qui s'y rattachent.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Définir le principe de transformation du courant ainsi que les conséquences qu'elle entraîne.
- Identifier les composantes d'un transformateur.
- Appliquer la formule de la loi des transformateurs à des problèmes simples.
- Définir le principe de rectification du courant ainsi que les conséquences qui en découlent.
- Identifier les principales caractéristiques d'une diode et sa fonction dans un redresseur.
- Appliquer la notion de circuit flottant à un poste de soudage.
- Identifier les caractéristiques des plages de courant d'un poste de soudage et ce que cela entraîne sur les opérations de soudage.
- Définir la fonction d'un shunt magnétique et son effet dans un poste de soudage.
- Reconnaître l'existence d'une résistance interne dans une source de courant.
- Identifier la façon d'établir un graphe V-I.
- Définir la notion de facteur de marche.

La source : élément du circuit électrique

Lorsque tu utilises un appareil électrique, que ce soit à l'atelier ou à la maison, tu travailles sur un **circuit électrique**. Un courant circule dans des fils et vient alimenter l'appareil en question. Nous avons discuté de ce qui se produit dans ces fils et au niveau de l'appareil dans les deux premiers cahiers. Cependant, il demeure un sujet qui n'a pas encore été détaillé. C'est celui qui explique d'où provient le courant électrique. Nous parlons bien entendu de la **source électrique**. Cette source est présente dans tout circuit. C'est elle qui fournit le courant aux appareils électriques. Sans elle, le circuit n'est pas complet. Pour vérifier cela, souviens-toi de la définition d'un circuit élémentaire. Cette définition t'a été présentée dans le premier module du deuxième cahier.

Deux types de courant

Tu utilises constamment des sources de courant pour faire fonctionner divers appareils électriques. Ces sources se rangent en deux grandes catégories. Tu connais déjà cela pour l'avoir étudié au début du premier cahier.

Le courant alternatif

Toutes les **prises** électriques murales présentes à la maison ou à l'atelier fournissent un type particulier de courant. C'est le **courant alternatif**. Sais-tu d'où provient ce courant? En fait le réseau de distribution de l'énergie électrique achemine ce courant aux maisons, aux usines, etc. Mais à l'origine du réseau, il y a une installation quelconque qui l'alimente. Habituellement, il s'agit d'un barrage hydro-électrique, d'une usine thermique ou encore d'un réacteur nucléaire.

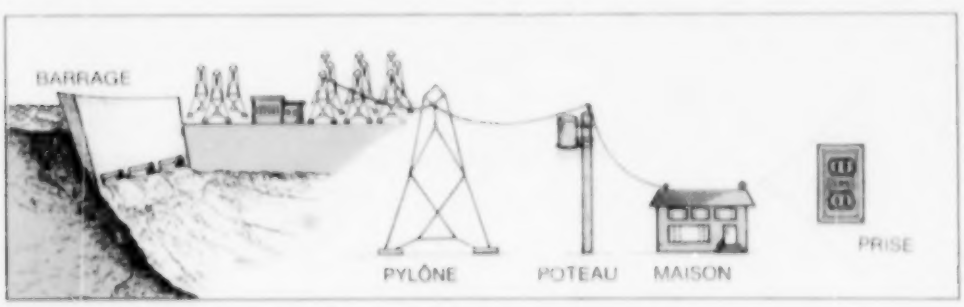


Figure 1 : Cheminement du courant alternatif dans le réseau.

Les appareils qui nécessitent du courant alternatif portent sur eux l'inscription « CA ». Si tu le veux, tu peux examiner l'étiquette de certains appareils à la maison ou à l'atelier. En plus des valeurs de puissance et de tension, tu y remarqueras les deux lettres « CA ». Certains appareils portent

toutefois l'inscription « CC ». C'est le cas des radios portatives qui peuvent être alimentées par le réseau à travers un cordon d'alimentation (CA) ou par des piles (CC).

Le courant continu

Le **courant continu** représente le deuxième type de courant pouvant alimenter des appareils électriques. L'abréviation « CC » indique cette option. Il existe à la maison des appareils fonctionnant à partir de ce courant. Ce sont en général de petits appareils alimentés par des piles. L'avantage est évident. L'absence de cordon d'alimentation permet l'utilisation de ces appareils même dans des endroits dépourvus d'alimentation électrique conventionnelle. Les piles n'ont toutefois qu'une vie limitée. Elles se déchargent rapidement lorsqu'elles sont sollicitées trop intensément.

En résumé...

Nous venons de détailler deux types de sources de courant. La **prise murale** fournit du courant alternatif et la **pile** fournit du courant continu. Remarque que ces deux sources peuvent remplir la même fonction. Tu utilises la première fréquemment lorsque, par exemple, tu allumes les lumières de la maison ou écoutes la musique de ton système de son. Tu peux parfois utiliser la deuxième source lorsque, par exemple, tu éclaires un sentier avec une lampe de poche ou écoutes la musique de ta radio portative. Dans les deux cas, tu as obtenu de la **lumière** et du **son**.

PRISE MURALE : SOURCE DE COURANT ALTERNATIF

PILE (ou batterie) : SOURCE DE COURANT CONTINU

Figure 2 : Sources de courant à la maison.

Tu peux également travailler avec deux types de courant lorsque tu effectues une soudure. En effet, les sources disponibles à ton atelier fournissent du **courant continu** et/ou du **courant alternatif**.

Ces sources se subdivisent en trois classes et portent des noms qui sont devenus populaires dans le milieu du soudage.

TYPES DE SOURCES	NOMS POPULAIRES
SOURCE DE COURANT CA	TRANSFORMATEUR
SOURCE DE COURANT CC	GÉNÉRATRICE
SOURCE DE COURANT CA/CC	REDRESSSEUR

Le but de ces appareils (également appelés **postes de soudage**) est de **fournir au soudeur le courant nécessaire à l'alimentation de l'arc électrique**. L'effet créé par l'électricité est une grande quantité de **chaleur**. C'est ce qui provoque la fusion des pièces de métal.

Tu connais maintenant le nom et le but des trois types de sources de courant mises à ta disposition dans l'atelier. Cependant, leur fonctionnement reste encore mystérieux. Par exemple, tu sais que ton poste de soudage est relié à une entrée électrique de 220 ou de 550 volts. Pourtant, tu peux obtenir des tensions (ou « voltages ») d'environ 20 volts avec cet appareil. Il se produit ce qu'on appelle une **transformation** du courant. Les deux prochains modules te présentent une façon de visualiser ce phénomène. De plus, tu verras l'élément qui permet cette transformation. Il fait partie de toutes les sources de courant. C'est le **transformateur**.

Par ailleurs, tu utilises parfois une source de courant CC qui est pourtant reliée à une entrée électrique CA. Tu vois qu'il se produit encore « quelque chose de spécial » dans cette source. Le courant alternatif (CA) est modifié et devient du courant continu (CC). On appelle cette modification **la rectification** du courant. Les éléments permettant ce phénomène sont les diodes qui, agencées d'une façon particulière, forment un **redresseur**. Deux modules se chargeront de te faire visualiser et comprendre les **effets de** ces éléments sur le courant électrique.

Tu étudieras donc dans ce troisième cahier le fonctionnement de deux mécanismes présents dans les sources de courant que tu utilises chaque jour à l'atelier de soudage.

SAVAIS-TU QUE...

DANS LA PLUPART DES PAYS, LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE EST FAITE SOUS UNE TENSION D'ENVIRON 240 VOLTS. LES ÉTATS-UNIS ET LE CANADA CONSTITUENT DES EXCEPTIONS AVEC UNE TENSION PRINCIPALE DE 110 VOLTS. NOUS PARLONS ICI DE LA TENSION OFFERTE DANS LES PRISES DE COURANT CONVENTIONNELLES COMME C'EST LE CAS À LA MAISON.

MODULE D'ACQUISITION 1

LA TRANSFORMATION DU COURANT

Les caractéristiques d'une source

Dans un poste de soudage, la source de courant avec laquelle tu travailles possède plusieurs caractéristiques. Tout d'abord, elle peut être alimentée par du courant alternatif provenant d'une entrée électrique de 220 ou de 550 volts. Elle possède ensuite des commandes qui permettent un ajustement de la tension et de l'intensité du courant. Par exemple, certaines sources offrent des gammes de tension allant de 10 à 15 volts. Le courant* peut alors varier de 80 à 300 ampères. Finalement, chacune de ces sources possède un facteur de marche qui indique le temps d'opération maximum.

Une source de courant n'a donc pas comme seul objectif de fournir le courant électrique. Elle permet également les ajustements nécessaires pour une meilleure opération de soudage. Lors de l'amorçage, le courant électrique passe d'une condition « haute tension — faible courant » à une condition « faible tension — courant élevé ». Ceci améliore les caractéristiques de l'arc de soudage et rend les conditions de travail plus sécuritaires. Par la suite, lors du soudage comme tel, le courant est ajusté de façon à améliorer la fusion de certaines pièces.

L'intérieur d'une source

Si certains ajustements du courant électrique sont possibles, c'est donc dire que la source possède des éléments capables de provoquer des changements. Les caractéristiques du courant sont modifiées entre l'entrée et la sortie de cette source. Y aurait-il moyen de visualiser ce qui se produit à l'intérieur de la source pour mieux comprendre cette **transformation** du courant ?

Nous allons tenter de trouver ce moyen ensemble dans les prochaines pages. Rappelons-nous tout d'abord le cahier 1 où un circuit dans une tuyauterie d'eau nous avait permis de comprendre ce qu'est le courant alternatif. Le montage t'est présenté à nouveau dans la figure 3.

Le courant dans un circuit d'eau

Cette comparaison avec un circuit électrique peut nous aider à visualiser bien d'autres phénomènes relatifs à l'électricité. Par exemple, la pression produite par le piston pousse l'eau à se déplacer avec force. La même chose se présente dans un circuit électrique. La tension pousse l'électricité à circuler avec force.

LA PRESSION DE L'EAU EST COMPARABLE À LA TENSION DE L'ÉLECTRICITÉ.

* Le terme courant est ici associé à l'intensité du courant ou « ampérage ».

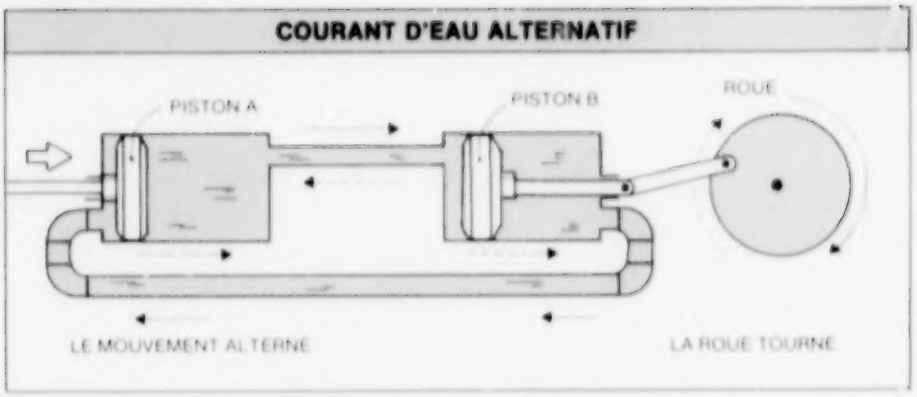


Figure 3 : Courant alternatif dans une tuyauterie d'eau.

Nous avons déjà dit que les sources de courant possèdent un mécanisme permettant l'ajustement de la tension à une valeur désirée. Pourrait-on imaginer une situation comparable pour un courant d'eau dans une tuyauterie ? Rappelle-toi que la pression de l'eau se compare à la tension du courant électrique. Il faudrait alors penser à un dispositif qui permettrait de modifier la pression de ce courant. Voici ce que nous te proposons pour réaliser cette modification.

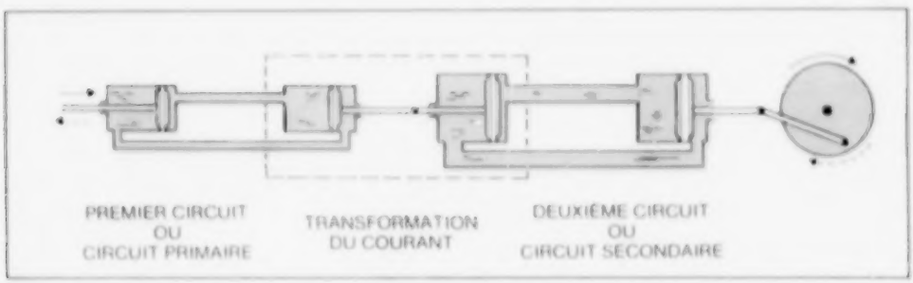


Figure 4 : Modification des caractéristiques du courant.

Étudions ensemble la figure 4 et voyons si les caractéristiques du courant d'eau sont modifiées dans le circuit de droite par rapport au circuit de gauche. Il faut observer dans un premier temps la chose suivante. Une tige unique relie les deux pistons centraux et les cylindres ont la même longueur. Tous les pistons effectueront donc la même course. On constate dans un second temps que les diamètres des pistons ne sont pas identiques. En effet, les dimensions des tuyaux et des cylindres sont plus grandes dans le deuxième circuit. Cette différence se traduit par une **diminution de pression**. La pression de l'eau dans le circuit de droite est effectivement plus faible que celle dans le circuit de gauche.

Une diminution de pression

Est-ce que tu comprends bien le fait qu'il y a diminution de pression dans le deuxième circuit de la figure 4? Si tu n'es pas certain, pense à la définition de la pression.

LA *PRESSION* EST LA FORCE DIVISÉE PAR LA SURFACE.

La force transmise d'un circuit à un autre est bel et bien la même puisque les deux pistons sont liés ensemble. Cependant, la surface sur laquelle cette force agit n'est pas la même. Le diamètre des pistons du deuxième circuit est plus grand. La même force étant répartie sur une plus grande surface, la pression est moins élevée.

Le phénomène en électricité

En résumé, le schéma de la figure 4 fait voir ce qui se produit lorsque la pression de l'eau est modifiée. Dis-toi que le phénomène est semblable en électricité. La **transformation** du courant devient possible lorsque les commandes de la source sont ajustées en conséquence. La tension peut alors être modifiée.

CIRCUIT D'EAU	*CIRCUIT ÉLECTRIQUE*
Il est possible de modifier la pression d'un courant d'eau dans un circuit en utilisant un mécanisme tel celui qui est représenté dans la figure 4.	Il est possible de modifier la tension d'un courant électrique dans un circuit en utilisant un mécanisme approprié. Ce mécanisme s'appelle un *TRANSFORMATEUR*.

Le **transformateur** est un mécanisme présent dans toutes les sources de courant. C'est lui qui permet l'ajustement de la tension lors des opérations de soudage. La transformation qu'il effectue se réalise de la même façon que ce qui se produit dans le montage spécial de la figure 4.

La modification de l'intensité du courant

Cette même comparaison est-elle valable pour ce qui est de la modification de l'intensité d'un courant électrique? On peut se poser cette question, car tu sais que l'ajustement de tension est exécuté **dans le but de modifier l'intensité du courant.** Plus précisément, **la tension est diminuée** et **le courant, augmenté**. Rappelons d'abord à quoi l'intensité du courant peut être comparée dans une tuyauterie d'eau. Nous avons détaillé cela dans le cahier 1. Le piston pousse une certaine quantité d'eau dans les tuyaux, à chaque seconde. Pareillement en électricité, la source pousse une certaine quantité de courant à circuler dans les fils, à chaque seconde. Dans le premier cas, nous parlons du débit d'eau et dans le deuxième cas, de l'intensité du courant.

LE DÉBIT DE L'EAU EST COMPARABLE À L'INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE.

Ensemble, examinons à nouveau la figure 4 qui représente notre montage spécial. Tu remarques que les cylindres et les tuyaux du circuit de droite ont des dimensions plus grandes. Une plus grande quantité d'eau peut y circuler à chaque seconde. Effectivement, les pistons du deuxième circuit balaient une plus grande quantité d'eau dans leur course. C'est leur diamètre plus grand qui permet cette augmentation.

La transformation du courant électrique par un **transformateur** peut donc **conduire** simultanément à la diminution de la tension et à l'augmentation de l'intensité de ce courant.

CIRCUIT D'EAU	*CIRCUIT ÉLECTRIQUE*
Il est possible de modifier le débit d'un courant d'eau dans le circuit en utilisant un mécanisme tel celui représenté à la figure 4.	Il est possible de modifier l'intensité d'un courant électrique dans le circuit en utilisant un mécanisme approprié. Ce mécanisme s'appelle un *TRANSFORMATEUR*.

En résumé, la transformation du courant effectuée par un transformateur implique une **modification tant de la tension que de l'intensité du courant.**

Maintenant que tu as pu saisir d'une certaine façon l'utilité d'un transformateur, il serait bon d'examiner un vrai transformateur électrique. C'est l'objectif du prochain module. Il décrit les composantes techniques de ce transformateur ainsi que leurs fonctions.

Cependant, avant de faire cette nouvelle lecture, réponds aux quelques questions qui résument le présent module.

- *Dans un circuit de soudage, dans quel sens les caractéristiques du courant sont-elles modifiées? À la hausse ou à la baisse?*

- *Pour mieux comprendre ce que sont la tension et l'intensité du courant électrique, à quelles caractéristiques d'un courant d'eau dans une tuyauterie est-il possible de les comparer?*

LE TRANSFORMATEUR

De quelle façon est structuré le transformateur faisant partie de ta source de courant? Qu'est-ce qui rend possible la transformation du courant? Nous verrons dans les prochaines pages les réponses à ces questions.

Une mise au point

Avant de décrire le mécanisme qu'est le transformateur, il importe de faire une mise au point. Dans le milieu du soudage, on appelle communément la **source de courant CA** un **transformateur**. Il est bon que tu gardes en mémoire cette expression puisqu'elle est populaire, et dans les écoles, et dans les industries. Cependant, le mot transformateur ne désigne en réalité qu'un **élément** faisant partie de toutes les sources de courant. C'est lui qui permet l'ajustement de la tension et du courant. Nous avons vu cela dans les pages précédentes. Pendant la lecture du module, souviens-toi toujours de cette mise au point.

Qu'est-ce qu'un transformateur?

Examinons d'abord comment est constitué un transformateur. Nous le schématisons dans la figure 5.

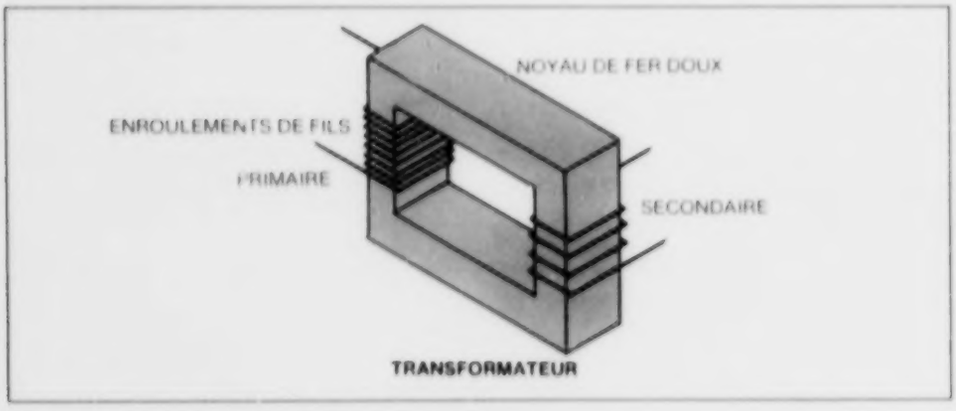


Figure 5 : Constitution d'un transformateur.

Tu remarques un noyau de fer doux sur lequel des enroulements de fils sont disposés de chaque côté. Le premier enroulement situé à gauche du schéma se nomme **bobine primaire** ou **simplement « le primaire »**. Le courant conventionnel du réseau d'électricité alimente cette première bobine.

CIRCUIT PRIMAIRE ⟶ COURANT CONVENTIONNEL

Puis un deuxième enroulement de fils est disposé à droite du schéma. On le nomme **bobine secondaire** ou « **le secondaire** ». C'est un courant ayant subi une transformation qui devient disponible à ce niveau.

CIRCUIT SECONDAIRE ⟶ COURANT MODIFIÉ

Un phénomène « mystérieux » dans le noyau

Comme les caractéristiques du courant sont modifiées entre le primaire et le secondaire, c'est dire qu'il se produit quelque chose entre les deux enroulements. Le phénomène est relié au magnétisme et s'avère trop complexe pour être abordé dans ce module. Cependant, tu peux prendre note des explications suivantes.

Le courant possède certaines caractéristiques à son arrivée à la bobine primaire. Cette dernière peut être reliée à une entrée électrique de 550 volts par exemple. Ainsi, le courant circule dans les fils de l'enroulement primaire sous une tension de 550 volts. Cependant, ces fils ne sont pas reliés de façon directe à ceux du secondaire. Il se produit un effet magnétique dans le noyau de fer. Cela provoque la création d'un courant électrique dans les fils de l'enroulement secondaire. Pourquoi les caractéristiques du courant ne sont-elles pas les mêmes au primaire et au secondaire ? C'est que les nombres de tours des deux enroulements ne sont pas les mêmes. Rappelle-toi ceci : la **différence dans le nombre de tours des enroulements** induit une **modification de la tension**. Si les deux bobines possédaient le même nombre de tours, il n'y aurait aucune transformation.

L'importance du nombre de tours des enroulements

La connaissance du nombre de tours disposés sur chacune des bobines rend possible le calcul de la transformation de la tension. En effet, le principe suivant est toujours vérifié pour les circuits électriques comportant des transformateurs.

Le rapport des deux valeurs de tension se retrouvant au primaire et au secondaire est égal au rapport du nombre de tours de fils pr[illegible] dans chacune des deux bobines.

Cette égalité peut s'exprimer sous la forme d'une relatio[illegible]ématique qui en facilite la compréhension.

$$\frac{\text{tension au primaire}}{\text{tension au secondaire}} = \frac{\text{nombre de tours au primaire}}{\text{nombre de tours au secondaire}}$$

Cette loi peut également s'exprimer en fonction des valeurs d'intensité de courant. Elle prend la forme suivante.

$$\frac{\text{courant au secondaire}}{\text{courant au primaire}} = \frac{\text{nombre de tours au primaire}}{\text{nombre de tours au secondaire}}$$

Un exemple !

Un exemple facile pourrait t'aider à comprendre l'utilité de cette relation. Examine la figure 5 de ce module. Tu y remarques un enroulement de 8 tours au primaire et de 4 au secondaire. (En réalité, le nombre de tours de fils des enroulements est beaucoup plus élevé que ne le montre le dessin, par exemple 8000 et 4000 au lieu de 8 et 4). Quelle serait la tension disponible au secondaire si celle présente au primaire était de 220 volts ? D'après la relation que nous venons de voir, le rapport des tensions est égal au rapport des nombres de tours de fils. Comme le nombre de tours est réduit de moitié, la tension est réduite d'un même facteur, soit de moitié. Dans cet exemple, la tension disponible au secondaire serait 110 volts.

Le transformateur : plusieurs applications

Nous venons de te présenter la structure d'un transformateur ainsi que son fonctionnement. Nous avons surtout utilisé ton poste de soudage comme exemple. Cependant, dis-toi bien que les transformateurs sont utilisés dans de nombreuses applications. Par exemple, la plupart des rasoirs électriques possèdent un interrupteur permettant l'usage d'un courant de 110 ou de 220 volts. C'est que la plupart des appareils électriques fonctionnent sur le 110 volts au Canada. Il n'en est pas de même en Europe où le 220 volts est le plus souvent utilisé. Cet interrupteur permet l'ajustement en conséquence.

Si l'on reçoit un courant électrique de 110 ou de 220 volts des fils allant du réseau d'électricité aux maisons, il n'en est pas de même dans tous les fils électriques du réseau. Les lignes de haute tension provenant des centrales électriques présentent des tensions telles 12 000 et 25 000 volts. C'est à ce moment qu'entrent en action des transformateurs spéciaux qui réduisent les tensions de façon à les rendre accessibles aux résidences. C'est donc une autre application nécessitant l'usage d'un transformateur.

Les transformateurs du réseau d'électricité

Lorsque tu en auras l'occasion, observe les poteaux d'électricité disposés le long des routes. Tu remarqueras quelque chose qui ressemble à ce qui t'est présenté dans la figure 6.

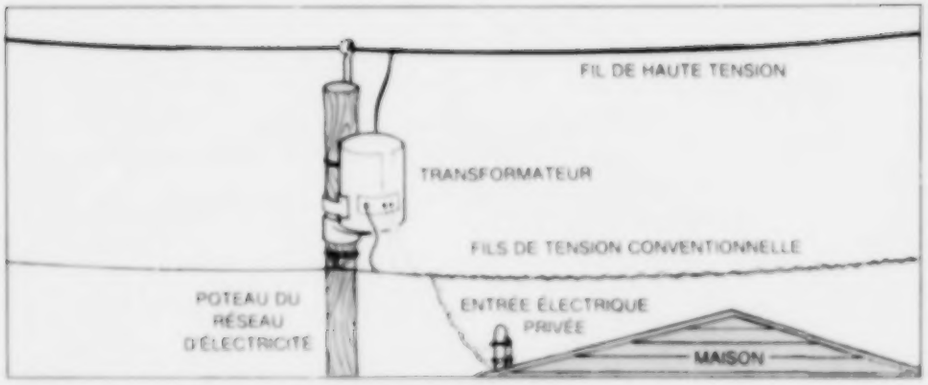


Figure 6 : Transformateur dans les poteaux d'électricité.

Un fil unique est d'abord disposé à une hauteur plus élevée. C'est le câble de haute tension (ex. : 12 000 volts). Puis un ensemble de fils roulés les uns sur les autres se retrouve à un niveau un peu plus bas. C'est l'ensemble de fils qui se rendent aux résidences. Un premier fil n'est pas enrobé d'isolant. Il constitue la prise de terre ou « ground ». Deux autres fils, ceux-là isolés électriquement, sont enroulés autour du premier. Ils servent à transporter le courant de 110 et de 220 volts. Ces deux tensions sont fournies de façon conventionnelle aux maisons privées.

Cependant, il s'est produit quelque chose entre le fil principal du poteau (12 000 volts) et le groupe de fils secondaires (110 et 220 volts). Si tu poursuis ton observation des poteaux d'électricité, tu vois des éléments cylindriques ressemblant à des barils attachés à quelques-uns de ces poteaux. Ce sont des **transformateurs**. Ils ont la fonction de modifier les caractéristiques du courant. En d'autres mots, ils agissent comme intermédiaires entre les fils de haute tension et les fils de tension conventionnelle.

Tu vois que le transformateur peut être utile dans plusieurs applications. Il se retrouve souvent incorporé à des appareils électriques et peut avoir des dimensions très variées.

Avant de passer à un autre type de mécanisme, récapitulons ensemble les deux derniers modules.

- *L'utilité du transformateur présent dans ta source de courant est d'apporter une modification à ce courant. La tension est* [redacted] *et le courant est* [redacted] *de façon à faciliter l'opération de soudage.*

- *Un transformateur est constitué d'un* [redacted] *et de deux* [redacted]. *Le premier de ces enroulements se nomme* [redacted] *et le second* [redacted].

- *Quelle est la relation mathématique liant les valeurs de tension aux nombres d'enroulements présents au primaire et au secondaire ?*

SAVAIS-TU QUE...

FARADAY FUT CELUI QUI, EN 1830, DÉMONTRA LA RELATION ENTRE CHARGE ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTISME. IL FAISAIT AINSI, AVEC L'AIDE D'AMPÈRE, UN PAS DE PLUS VERS LA MISE AU POINT DU TRANSFORMATEUR.

LA RECTIFICATION DU COURANT

Le soudage en courant continu

Il t'arrive parfois de souder en courant continu. Tu as alors besoin d'une source de courant CC. L'arc en courant continu présente de meilleures caractéristiques; c'est pourquoi le soudage avec ce type de courant est toujours populaire. La qualité du chauffage et la fusion des électrodes sont des facteurs qui favorisent ce choix. Cependant, une question peut te venir à l'esprit. Comment peut-on obtenir du courant continu avec une source alimentée en courant alternatif ? C'est le cas de ta source puisqu'elle est branchée à l'entrée électrique conventionnelle de 220 ou de 550 volts. Et tu sais très bien que seul du courant alternatif est fourni à l'entrée électrique.

Une modification du type de courant

Il faut donc un mécanisme faisant partie des sources de courant continu qui assure une modification du type de courant électrique. Un courant alternatif se présente à l'entrée d'une source pour se retrouver à la sortie sous la forme d'un courant continu. On appelle cette modification la **rectification** du courant électrique.

Il serait possible de te faire visualiser ce phénomène en utilisant encore une fois une comparaison avec l'écoulement de l'eau. Comme la rectification peut s'effectuer sur un courant électrique, essayons d'imaginer une **rectification sur un courant d'eau**.

Pour cela, nous devons d'abord nous rappeler comment se comporte un courant d'eau lorsqu'il est continu et lorsqu'il est alternatif. Nous pourrons ensuite tenter de relier les deux courants par un mécanisme quelconque.

Les courants d'eau continu et alternatif

Le cahier 1 t'a permis de voir la différence entre les deux types de courant. D'abord, un montage comprenant une pompe et une turbine t'a fait voir un courant d'eau continu.

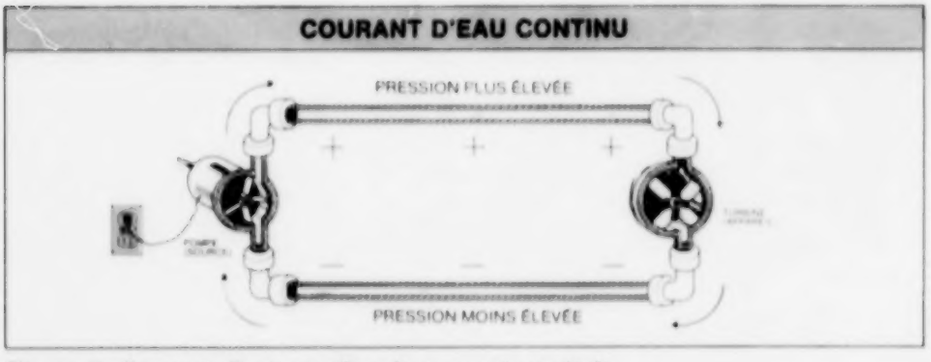


Figure 7 : Courant d'eau continu dans une tuyauterie.

Tu remarques que l'eau circule dans un sens précis tout le long du circuit. Le **résultat final** apporté par ce courant d'eau est la **rotation de la turbine**. Cette dernière tourne continuellement dans le même sens.

Pour ce qui est du courant alternatif, un montage différent t'a également été présenté dans le cahier 1. Le montage en question comprend des pistons qui provoquent une alternance dans le mouvement de l'eau.

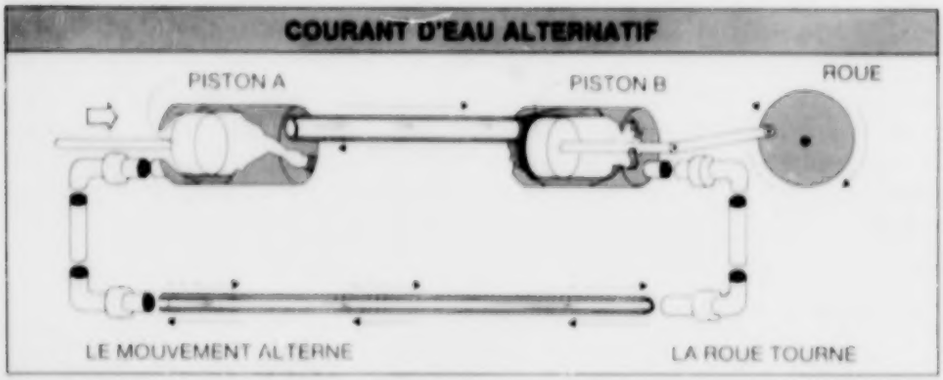


Figure 8 : Courant d'eau alternatif dans une tuyauterie.

Les pistons se déplacent de gauche à droite puis de droite à gauche de façon ininterrompue. C'est ce qui cause le changement de direction du courant d'eau. Cependant, le **résultat final** entraîné par ce mouvement est la **rotation d'une roue**. Cette rotation se fait de façon continuelle dans le même sens et cela, malgré l'alternance du mouvement dans le circuit.

En résumé, les schémas des figures 7 et 8 représentent bien les différences entre un courant continu et un courant alternatif. Ceci est valable pour un courant d'eau comme pour un courant électrique.

La rectification du courant d'eau

Serait-il possible d'imaginer un mécanisme assurant la transformation de notre courant d'eau alternatif en un courant d'eau continu ? Nous pourrions alors mieux illustrer ce qu'est la **rectification** du courant.

Nous te proposons dans les prochaines pages un montage spécial qui représente ce phénomène. Nous devons combiner les schémas des figures 7 et 8 en les reliant par un tiroir à deux positions. Vérifions ensemble s'il y a réellement rectification du courant.

La figure 9 illustre tout d'abord dans sa partie de gauche un circuit alternatif: le mouvement de l'eau doit alterner dans toute cette partie du schéma. Puis un passage dans le tiroir relie ce premier circuit à un deuxième circuit: le mouvement de l'eau doit alors respecter un mouvement continu dans tout ce circuit.

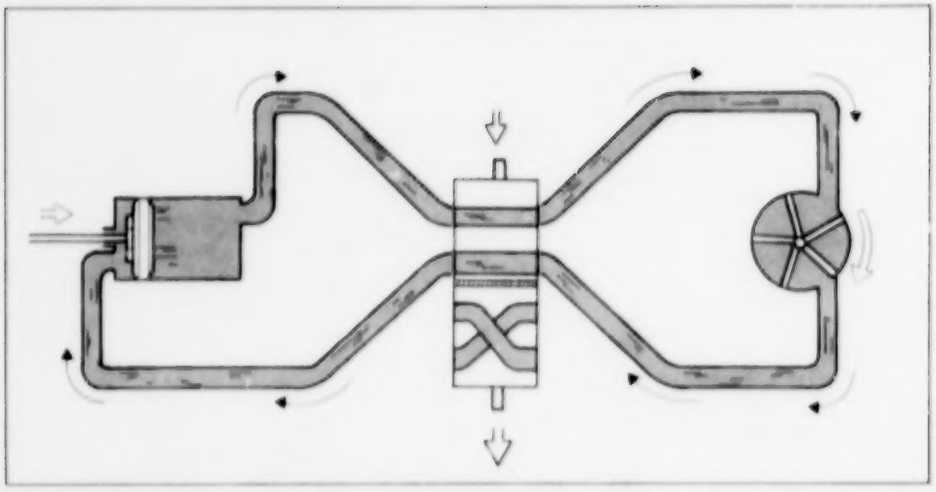


Figure 9 : Montage spécial illustrant la rectification d'un courant d'eau (1re étape).

Pour mieux voir si toutes les conditions sont respectées, examinons le tout en deux étapes. La figure 9 présente des flèches qui indiquent une première étape du mouvement. Dans cette étape, le piston du circuit alternatif se déplace de la **gauche vers la droite**.

Première étape de la rectification du courant d'eau

CIRCUIT SITUÉ À GAUCHE (Fig. 9)	*CIRCUIT SITUÉ À DROITE (Fig. 9)*
Le piston se déplace de gauche à droite. L'eau est poussée vers le tuyau du haut. Le courant d'eau circule dans le sens des aiguilles d'une montre (SENS HORAIRE).	L'eau se dirige également dans le tuyau du haut. Le courant agit alors sur la turbine. Le courant dans le circuit et la turbine tournent donc dans le sens des aiguilles d'une montre (SENS HORAIRE).

Au moment où le piston parvient à la fin de sa course, c'est-à-dire à l'extrême droite, un changement est effectué dans le montage. On déplace le tiroir à sa deuxième position. La deuxième étape du mouvement est sur le point de commencer. Le piston se déplacera cette fois de la **droite vers la gauche**.

Deuxième étape de la rectification du courant d'eau

La figure 10 illustre cette deuxième étape. Tu remarques que plusieurs flèches sont inversées relativement à celles de la figure 9. Est-ce que tu devines ce qui va se produire ?

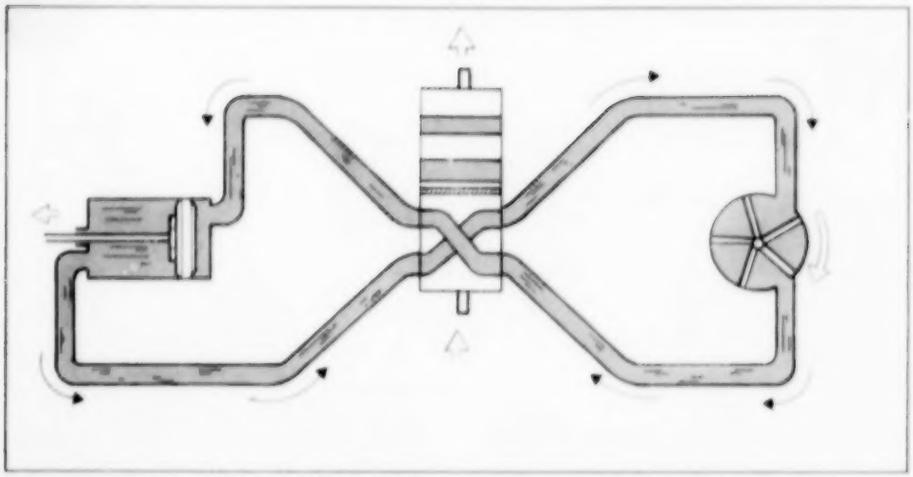


Figure 10 : Montage spécial illustrant la rectification d'un courant d'eau (2e étape).

CIRCUIT SITUÉ À GAUCHE (Fig. 10)	*CIRCUIT SITUÉ À DROITE (Fig. 10)*
Le piston se déplace de droite à gauche. L'eau est poussée vers le tuyau du bas. Le courant d'eau circule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (SENS ANTI-HORAIRE).	L'eau se dirige dans le tuyau du haut encore une fois. Le courant agit alors sur la turbine. Le courant dans le circuit et la turbine tournent donc dans le sens des aiguilles d'une montre (SENS HORAIRE).

En conclusion, tu remarques que, dans le **circuit de gauche**, le **courant alterne** en passant d'une étape à l'autre. Cependant, dans le **circuit de droite**, le **courant reste continu** et ce, lors des deux étapes. Bien entendu, la condition essentielle permettant ce phénomène est le changement de position du tiroir à chaque fois que le piston arrive à la fin d'une course.

Il faut que tu notes que ce mouvement est très rapide. Nous ne t'avons illustré ici que deux étapes. Tu dois imaginer que le piston se déplace rapidement de gauche à droite, puis de droite à gauche et ainsi de suite. Ce mouvement ininterrompu et rapide du piston permet un **courant alternatif** dans le circuit de gauche. Ensuite, par un changement adéquat de la position du tiroir, le courant devient un **courant continu** dans le circuit de droite. Il y a eu **rectification** du courant d'eau.

La rectification du courant électrique

Tout comme un courant d'eau peut être rectifié, un courant électrique peut également subir une **rectification**. C'est le même phénomène que celui que nous venons de t'expliquer sauf que les « victimes » ne sont pas des gouttes d'eau mais des charges électriques.

CIRCUIT D'EAU	CIRCUIT ÉLECTRIQUE
Un courant d'eau alternatif peut être rectifié en un courant d'eau continu si un mécanisme adéquat est utilisé. Celui-ci est représenté dans les figures 9 et 10.	Un courant électrique alternatif peut être rectifié en un courant électrique continu si un mécanisme adéquat est utilisé. Ce mécanisme se nomme *REDRESSEUR*.

Un redresseur électrique peut donc se retrouver dans une source de courant continu. Sa fonction est de **rectifier** ou **redresser** le courant. Le prochain module t'explique en détail de quelle façon est conçu un redresseur et comment il fonctionne.

- *Que signifie rectification du courant électrique ?*
- *Dans notre montage illustrant la rectification d'un courant d'eau, qu'est-ce qui permet la conservation du courant continu dans le circuit de droite ?*

SAVAIS-TU QUE...

L'EMPLOI D'UN FILTRE AU-DESSUS DES PASSAGES D'AIR DE LA SOURCE DE COURANT REND LA GARANTIE NULLE. ON PEUT SOUFFLER DE L'AIR COMPRIMÉ SEC SUR LES PIÈCES INTERNES AFIN D'ENLEVER LES SALETÉS ET POUSSIÈRES ACCUMULÉES. ATTENTION AUX PARTICULES DE POUSSIÈRE QUI POURRAIENT ATTEINDRE TES YEUX!

LE REDRESSEUR

De quelle façon est conçu le redresseur faisant partie de ta source de courant? Qu'est-ce qui fait que la rectification du courant est possible? Nous verrons dans les prochaines pages les réponses à ces questions.

Une mise au point

Avant de décrire le mécanisme qu'est le redresseur, il serait important de faire une mise au point qui évitera toute confusion. Dans le milieu du soudage, l'expression **redresseur** est réservée uniquement à la **source de courant CC/CA**. Retiens cette expression puisque c'est le langage du milieu qui le veut ainsi. Cependant, il faut également que tu comprennes que le mot redresseur ne désigne en réalité qu'un **mécanisme** faisant partie de deux types de sources de courant. Ces deux types sont ceux qui fournissent du courant continu, soit la source CC communément appelée GÉNÉRATRICE et la source CC/CA communément appelée REDRESSEUR. Souviens-toi que le mécanisme redresseur transforme le courant alternatif en courant continu. Lors de la lecture des prochaines pages, garde toujours en mémoire cette mise au point.

Les éléments d'un redresseur : les diodes

Un redresseur est conçu à l'aide de quatre diodes électriques. Ces diodes sont liées de façon à assurer la rectification du courant. Une **diode** est un élément électrique ne permettant la circulation du courant que **dans un seul sens.**

Pour bien visualiser ce phénomène, imaginons une « **diode à eau** ». Le mécanisme doit permettre la circulation du courant d'eau dans un seul sens. Comparons ensuite cette « diode à eau » à une diode électrique. Nous te présentons cette comparaison aux figures 11 et 12.

Dans un premier temps, examinons les diodes lorsque le courant est dans le bon sens ou en d'autres mots, le **sens admis par la diode**.

DIODE À EAU	DIODE ÉLECTRIQUE
La circulation du courant d'eau est permise de gauche à droite.	La circulation du courant électrique est permise de gauche à droite.

Figure 11 : Sens de circulation permis par les diodes.

Si tu examines bien la diode à eau, tu vois que le grillage empêche la bille d'obstruer le passage. Ainsi, quand le courant s'établit de la gauche vers la droite, le passage est permis. L'eau se faufile de chaque côté de la bille et poursuit son chemin dans le tuyau.

Dans un second temps, examinons les diodes lorsque le courant s'établit dans le sens contraire. Pour remplir leur rôle, elles doivent empêcher la circulation dans ce nouveau sens. Remarque que, cette fois-ci, le grillage n'empêche pas la bille d'obstruer le passage.

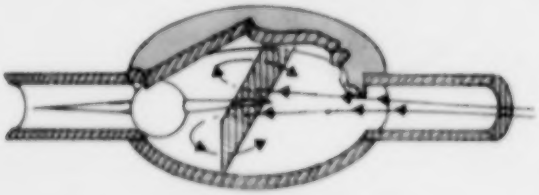
DIODE À EAU	DIODE ÉLECTRIQUE
	
La circulation du courant d'eau n'est pas permise de droite à gauche.	La circulation du courant électrique n'est pas permise de droite à gauche.

Figure 12 : Sens de circulation interdit par les diodes.

La diode électrique fonctionne selon le même principe que la diode à eau. Il est évident qu'elle n'est pas conçue de la même façon. Cependant, retiens son utilité. C'est ce qui compte pour le moment.

Nous t'avons déjà dit qu'un **redresseur** électrique est constitué de quatre diodes liées d'une certaine façon. Voyons comment ce montage peut permettre la rectification d'un courant électrique.

Le redresseur électrique

Nous te présentons à la figure 13 le montage d'un redresseur électrique. Le circuit situé à gauche du schéma est alimenté par du courant alternatif. Le circuit situé à droite de ce même schéma doit permettre le passage de courant continu seulement. Est-ce que les quatre diodes sont liées de façon à respecter cette condition?

Pour vérifier cela, examinons le mouvement du courant en deux étapes comme nous l'avons fait dans le module précédent. Dans un premier temps, regardons ce qui se produit lorsque, dans le circuit de gauche, le courant circule en sens horaire. Les flèches insérées à la figure 13 illustrent cette première étape.

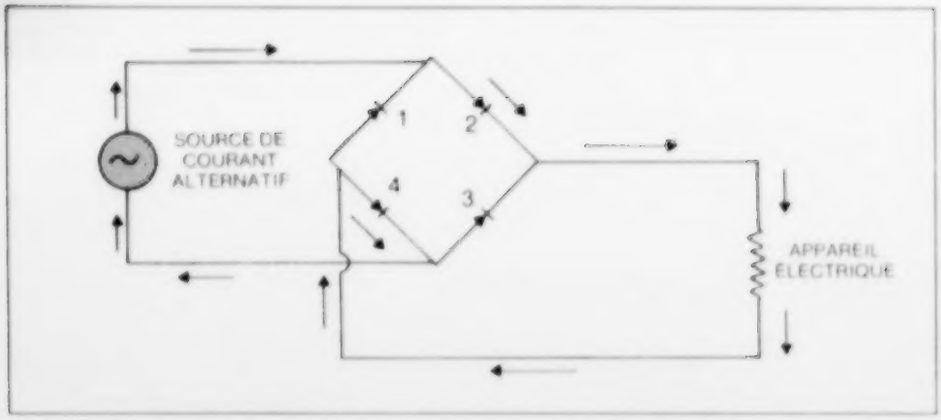


Figure 13 : Fonctionnement d'un redresseur électrique (1re étape).

Tu remarques dans cette première étape que le courant se présente aux diodes 1 et 2. Cependant, la circulation n'est permise que par la diode 2 (remarque le sens de la diode). Par la suite, la diode 3 interdit à son tour le passage du courant. Ce dernier s'engage donc dans le circuit de droite pour se rendre à l'appareil.

1re ÉTAPE DE LA CIRCULATION DU COURANT DANS LE REDRESSEUR

CIRCUIT DE GAUCHE	*CIRCUIT DE DROITE*
Le courant circule dans le sens horaire.	Le courant circule dans le sens horaire.

Observons maintenant ce qui se produit lorsque le courant alternatif change de sens. La source envoie ce courant vers le fil du bas; ceci provoque une circulation en sens anti-horaire dans le circuit de gauche. C'est la deuxième étape du mouvement. La figure 14 présente cette étape avec les flèches correspondant au nouveau sens.

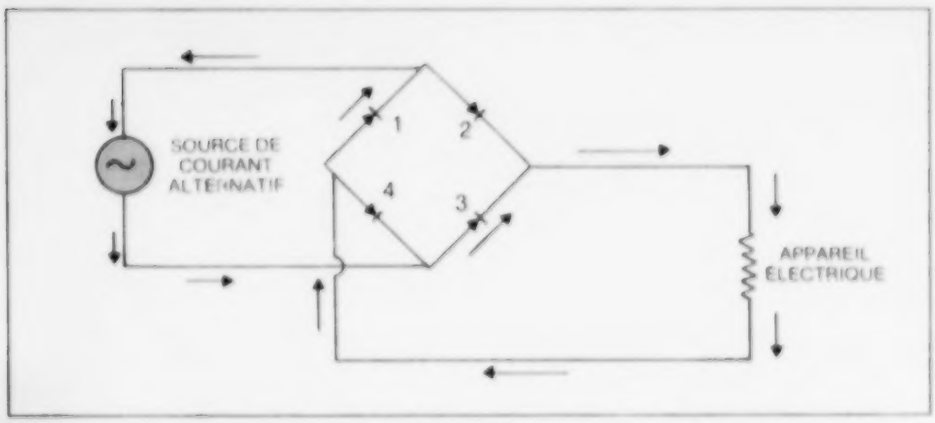


Figure 14 : Fonctionnement d'un redresseur électrique (2e étape).

Dans cette deuxième étape, le courant se présente aux diodes 3 et 4. Cependant, la circulation n'est permise que par la diode 3. Par la suite, la diode 2 interdit à son tour le passage du courant. Ce dernier s'engage donc dans le circuit de droite pour se rendre à l'appareil. Remarque que, dans le circuit de droite, la circulation reste la même que celle de la première étape et ce, malgré l'alternance de la circulation dans le circuit de gauche.

2e ÉTAPE DE LA CIRCULATION DU COURANT DANS LE REDRESSEUR

CIRCUIT DE GAUCHE	*CIRCUIT DE DROITE*
Le courant circule cette fois dans le sens anti-horaire.	Le courant conserve le même sens de circulation, soit le sens horaire.

En conclusion, tu peux constater que le circuit de droite présente toujours un **mouvement continu** et ce, même si le circuit de gauche présente un **mouvement alternatif**. La fonction du redresseur est donc respectée : assurer la rectification du courant.

Un redresseur est un mécanisme composé de quatre diodes qui assure la transformation d'un courant alternatif en un courant continu (rectification).

Comme nous l'avons déjà dit, ce redresseur est présent dans les sources de courant continu que tu utilises à ton atelier. Pour vérifier si tu as bien compris le fonctionnement d'un tel redresseur, nous te proposons quelques questions. De plus, quelques problèmes te sont soumis à la fin du cahier.

- *Quelle est la caractéristique principale d'une diode ?*
- *De quelle façon est conçu un redresseur et quelle est son utilité ?*

« Un dépannage bien particulier ! »

Il est évident que la compréhension du fonctionnement des sources de courant ne modifiera pas ta façon de souder. Cependant, elle pourra t'aider

à mieux comprendre ce avec quoi tu travailles. Cette compréhension pourra également te permettre d'effectuer certaines réparations ou d'improviser certains montages.

Voici un court récit qui prouve le bien-fondé de cette affirmation. Un jour, une personne s'est retrouvée avec une batterie d'auto déchargée. Pensant bien faire, cette personne a branché un petit transformateur de train électrique d'un côté au secteur et de l'autre côté à la batterie, se disant: « Ce transformateur de train fournit du 12 volts tout comme une batterie d'auto ». La personne s'est retirée confiante et est revenue quelques heures plus tard. Elle a essayé le démarrage. Pas de résultat! Elle a testé la batterie avec un multimètre. Pas de tension! Quelle erreur avait faite cette personne selon toi?

La réponse est qu'elle n'avait pas porté attention aux types de courant. Le **réseau** ainsi qu'un **transformateur** ne fournit que du courant **alternatif**. Une **batterie** d'automobile fournit du courant **continu** et doit donc être alimentée avec ce type de courant seulement.

En réalité, la batterie se chargeait quand le courant alternatif était dans le bon sens; mais elle se déchargeait aussitôt que le courant changeait de sens. Ce fut donc une perte de temps pour notre ami.

Y aurait-il eu moyen de corriger la situation? Ne venons-nous pas d'étudier un mécanisme qui assure la transformation du courant alternatif en courant continu: le **redresseur**? Ce mécanisme, placé entre le transformateur de train et la batterie d'auto, aurait réglé la situation. La batterie aurait pu être chargée. Un courant alternatif du réseau aurait d'abord été fourni au transformateur. Ce dernier aurait ajusté la tension en la diminuant de 120 V (entrée électrique) à 12 V. Puis le redresseur aurait ensuite rectifié le courant, le faisant passer de CA à CC. La batterie aurait finalement reçu le courant adéquat, soit du 12 volts CC. La personne aurait été dépannée!

Dans tes expériences relatives au domaine de l'électricité, des événements de toutes sortes peuvent se produire. Une meilleure compréhension de base du phénomène peut alors t'aider à affronter ces événements. Et ceci est vrai à l'atelier comme à la maison.

SAVAIS-TU QUE...

LA DIODE FUT MISE AU POINT PAR J.A. FLEMING EN 1904. AUJOURD'HUI, ON UTILISE DES MATÉRIAUX SEMI-CONDUCTEURS COMME LE GERMANIUM ET LE SILICIUM POUR LA FABRIQUER. ON PEUT TROUVER DU SILICIUM DANS LA PLUPART DES ROCHES COURANTES. LE SABLE EST EN RÉALITÉ DU BIOXYDE DE SILICIUM.

FICHE DE SYNTHÈSE

La transformation du courant

L'une des caractéristiques d'une source de courant consiste à pouvoir modifier la tension et l'intensité du courant qui alimente l'arc. Comme cette source est reliée au réseau de distribution d'électricité, elle reçoit un courant de forte tension et d'intensité faible. Cependant, les conditions de soudage nécessitent une intensité de courant élevée et une tension faible. C'est à ce moment que la source remplit son premier rôle. Elle fait subir au courant une **transformation**. Le mécanisme qui contrôle cette modification des caractéristiques du courant s'appelle **transformateur**.

Le transformateur

C'est un dispositif formé d'un noyau de fer doux et de deux enroulements de fils. Un effet magnétique dans ce noyau fait subir la transformation du courant en passant de l'enroulement primaire à l'enroulement secondaire.

La loi des transformateurs

$$\frac{\text{tension au primaire}}{\text{tension au secondaire}} = \frac{\text{nombre de tours au primaire}}{\text{nombre de tours au secondaire}}$$

$$\frac{\text{intensité au secondaire}}{\text{intensité au primaire}} = \frac{\text{nombre de tours au primaire}}{\text{nombre de tours au secondaire}}$$

La rectification du courant

Certaines sources de courant possèdent un second mécanisme qui est assez particulier. C'est le cas du transformateur-redresseur. Il t'arrive de souder avec du courant continu. La source doit alors te fournir ce type de courant. Cependant, tu sais très bien que cette source est reliée au réseau qui n'offre que du courant alternatif. C'est à ce moment que le mécanisme spécial entre en jeu. Il est appelé **redresseur**. Il fait subir au courant une **rectification**.

Le redresseur

C'est un dispositif formé de quatre diodes agencées d'une façon bien précise. Les diodes sont des éléments qui ne laissent passer le courant électrique que dans un seul sens. Grâce à cet agencement de diodes, le courant alternatif devient du courant continu.

Les expressions populaires

Dans le milieu du soudage, on appelle communément les sources de courant une génératrice (pour le CC), un transformateur (pour le CA) et un redresseur (pour le CC et le CA). Dis-toi cependant que le transformateur et le redresseur représentent en réalité des mécanismes électriques présents dans ces sources. Par exemple, la génératrice possède un transformateur et le transformateur-redresseur fournit du courant continu.

SAVAIS-TU QUE...

LE LIEU D'INSTALLATION DE LA SOURCE DE COURANT DOIT PERMETTRE LE DÉMONTAGE DU CAPOT ET DES PANNEAUX LATÉRAUX POUR FINS D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATION. L'EFFICACITÉ DE LA SOURCE DE COURANT EST SÉRIEUSEMENT COMPROMISE SI ELLE EST INSTALLÉE DANS UN ENDROIT POUSSIÉREUX, SALE ET HUMIDE OU SI ELLE EST EXPOSÉE À DES VAPEURS CORROSIVES OU À DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

FICHE D'ÉVALUATION

1. Le passage du courant électrique dans un transformateur entraîne la modification...
   a) de l'intensité de ce courant?
   b) de la tension de ce courant?
   c) de la tension et de l'intensité de ce courant?

2. Soit un transformateur formé d'une bobine primaire de 500 spires et d'une bobine secondaire de 400 spires. On le branche aux 220 volts du réseau de distribution d'électricité. Quelle est, à ce moment, la tension générée au secondaire?
   a) 44 volts.
   b) 176 volts.
   c) 275 volts.

3. Par quel phénomène les composantes d'un transformateur assurent-elles une modification des valeurs de tension du courant électrique?
   a) Un effet magnétique.
   b) Une perte de courant dans le noyau de fer.
   c) Un mauvais contact entre les deux enroulements.

4. Soit un transformateur qui fournit une tension de 22 volts. Si le nombre de tours de l'enroulement est 10 000 au primaire et 1 000 au secondaire, quelle tension alimente le transformateur?
   a) 500 V.
   b) 220 V.
   c) 110 V.

5. Les bobines du primaire et du secondaire d'un transformateur présentent respectivement 7200 et 1200 tours de fils. Sachant que l'intensité de courant à l'entrée du transformateur atteint la valeur de 6 A, quel courant sera fourni par ce transformateur?
   a) 36 A.
   b) 1 A.
   c) 6 A.

6. Un redresseur branché au courant alternatif livre un courant électrique dont...
   a) la tension seulement est continue?
   b) la tension et l'intensité sont continues?
   c) l'intensité seulement est continue?

7. Quelle est la fonction d'une diode électrique ?
   a) Permettre la circulation du courant dans un seul sens.
   b) Permettre la circulation du courant dans un seul sens mais de façon alternative.
   c) Permettre la circulation du courant dans un seul sens à condition que la tension soit suffisante.

8. La rectification d'un courant électrique alternatif entraîne...
   a) une diminution de la valeur de tension?
   b) une amélioration des caractéristiques du courant électrique?
   c) une transformation de ce courant en mode continu?

9. De quelle façon la tension et l'intensité de courant sont-elles influencées lors de l'amorçage de l'arc ?
   a) La tension diminue et l'intensité de courant diminue.
   b) La tension diminue et l'intensité de courant augmente.
   c) La tension augmente et l'intensité de courant diminue.

10. Tu es habitué d'entendre, à l'atelier, les termes transformateur, génératrice et redresseur (ou transformateur-redresseur). À quoi correspondent respectivement ces trois termes ?
    a) Aux sources de courant CC, CA et CC/CA.
    b) Aux sources de courant CA/CC, CC et CA.
    c) Aux sources de courant CA, CC et CC/CA.

MODULE DE COMPLÉMENT 1

Les dispositifs de réglage d'une source de courant

Tu as maintenant parcouru plusieurs modules dans ce cahier. La lecture de ces modules devrait t'avoir permis de comprendre deux choses. Dans un premier temps, le poste d'alimentation de ton circuit de soudage transforme la tension du réseau en une nouvelle tension adaptée aux besoins concrets du soudage. Dans un deuxième temps, le courant alternatif du réseau peut être transformé en un courant continu. Ce sont là deux caractéristiques d'une source de courant alimentant l'arc électrique. Le transformateur et le redresseur permettent de remplir ces fonctions.

Le présent module porte sur les caractéristiques d'un poste de soudage découlant de la présence du transformateur. Voici les sujets traités dans ce module :

1) le circuit flottant et le poste de soudage;
2) les plages de courant dans un poste de soudage;
3) le réglage de l'intensité du courant d'un poste de soudage.

Ces sujets seront traités d'une manière générale applicable à une grande variété de postes de soudage. L'étude de ce module devrait t'aider à mieux comprendre le fonctionnement des sources de courant qui alimentent ton arc de soudage. De cette façon, la lecture du manuel d'entretien fourni par le fabricant te sera facilitée. Par conséquent, tu pourras assurer cet entretien toi-même de façon aisée et sécuritaire.

1. LE CIRCUIT FLOTTANT ET LE POSTE DE SOUDAGE

Dans une opération de soudage, les bornes de la source de courant sont reliées à l'électrode et à la pièce. Est-ce que cela peut causer un problème ? Est-ce que tu peux subir un choc électrique venant de la pièce à souder ? Pourtant, tu sais très bien qu'il suffit de toucher à un des deux fils d'une prise de courant pour recevoir un choc électrique. Pourquoi le même phénomène ne se produit-il pas avec un poste de soudage ? Pourrais-tu souder en branchant les câbles du circuit de soudage directement sur le réseau d'électricité sans passer par un bloc d'alimentation ? La réponse à la dernière question est non ! Il y a plusieurs raisons qui expliquent cela. Une de ces raisons découle du fait que le réseau d'électricité à la prise de courant n'est pas flottant.

Le circuit électrique flottant

Pour visualiser ce qu'est un circuit flottant, examine avec nous le circuit simple d'une pile qui alimente une petite ampoule.

Figure 15 : Circuit flottant.

La pile crée une tension qui force le courant à circuler à travers l'ampoule. Qu'arriverait-il si tu branchais l'une ou l'autre borne de la pile à la prise de terre ? Que se passerait-il si tu touchais à un des deux fils ? La réponse est « rien » !

En fait, n'importe quel point du circuit de la figure 15 peut être relié à la prise de terre. La seule condition à respecter est de ne relier **qu'un seul point** du circuit à la terre.

Rappelle-toi que c'est la différence de potentiel entre les deux bornes de la pile qui crée le courant électrique. On parle de la tension aux bornes. Si on fixe la borne négative à la terre, l'autre borne se trouve à un potentiel plus élevé que la terre. Si on fixe la borne positive à la terre, le potentiel de l'autre borne se trouve moins élevé que la terre. Cependant, on note que, dans les deux cas, la différence de potentiel est la même. De plus, l'ampoule s'allume à chaque fois. Le fait d'être en place dans un circuit flottant ne l'empêche pas de fonctionner et évite tout choc électrique.

Un circuit est flottant lorsqu'il admet un branchement à une prise de terre à n'importe quel point de ce circuit.

Le secondaire d'un transformateur

Essaye maintenant d'appliquer cette notion de circuit flottant au transformateur. Examine tout d'abord la figure 16 qui montre un transformateur alimentant une ampoule.

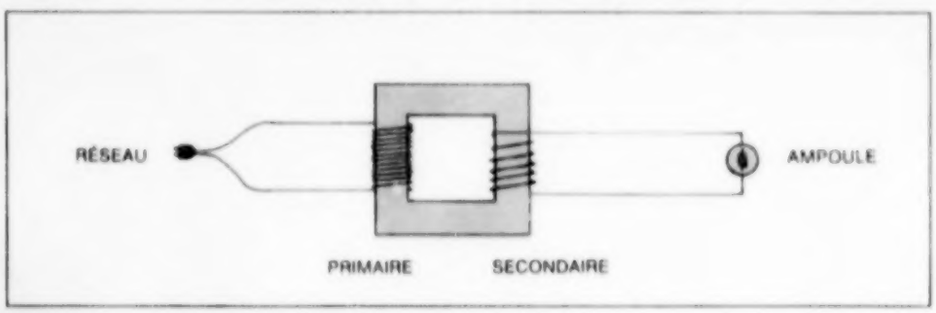


Figure 16 : Transformateur pour activer une ampoule.

Le primaire est branché au réseau et le secondaire à l'ampoule. Ce pourrait être par exemple le circuit utilisé pour alimenter une ampoule fonctionnant sous une tension de 6 volts que l'on peut opérer à partir du 110 volts.

Le transformateur change la tension de 110 volts à 6 volts. Tu as déjà réalisé ce qui se produit dans le noyau du transformateur. Il n'y a aucun lien électrique entre le primaire et le secondaire. Le couplage entre les deux bobines se fait par le champ magnétique présent dans le noyau de fer.

Tu seras d'accord avec nous si nous affirmons que n'importe quel point du secondaire peut être relié à une prise de terre sans affecter les conditions au primaire. En fait, le circuit au secondaire ressemble à notre circuit schématisé à la figure 15. La pile est simplement remplacée par le bobinage. Cependant en ce qui concerne le primaire, on ne peut absolument pas brancher une prise de terre à n'importe quel endroit. En effet, le circuit du primaire est relié au réseau de la compagnie d'électricité. Ce réseau possède sa propre prise de terre. On ne peut en introduire une autre, car il pourrait y avoir conflit de masse. En conclusion, nous te proposons de retenir l'encadré suivant.

Un circuit activé par le secondaire d'un transformateur est un circuit flottant. Il admet un branchement à une prise de terre à un point quelconque de ce circuit.

Le transformateur-redresseur

Poursuivons la même discussion en nous rapprochant de plus en plus du véritable mécanisme présent à l'intérieur d'une source de courant destinée au soudage. Ajoutons, dans le circuit du secondaire (de la figure 16), un redresseur pour que du courant continu soit disponible.

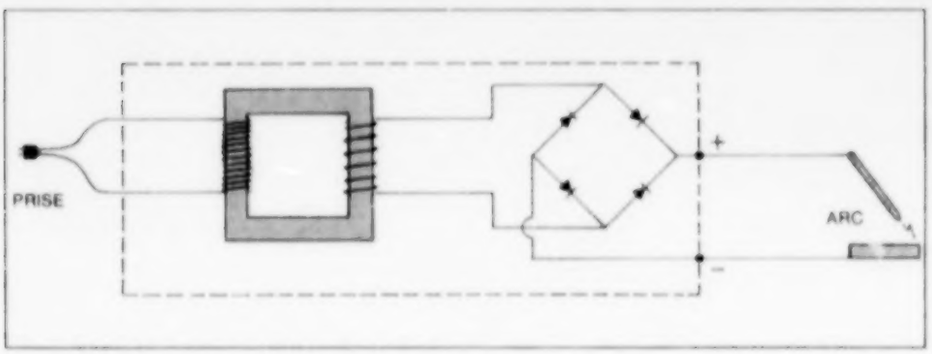


Figure 17 : Circuit d'un transformateur-redresseur.

Tu connais les éléments de ce système. Nous avons remplacé la source de courant de la figure 13 par un transformateur relié au réseau. La source de courant que tu nommes communément redresseur possède en fait

un transformateur et un redresseur. Ils sont représentés dans le schéma par l'encadré pointillé. Les deux points où sont assignées des polarités représentent les sorties de ta source. C'est là que tu branches les câbles reliés au porte-électrode et à la pièce.

Une caractéristique importante est associée à ce circuit à partir du secondaire du transformateur jusqu'à l'arc électrique. **Ce circuit est flottant**. Il n'y a aucun branchement à une prise de terre en n'importe quel point du secondaire. Bien entendu, une mise à la terre a été faite au primaire à travers le réseau de distribution d'électricité. Mais le circuit au secondaire n'est pas relié au primaire par un fil quelconque.

Dans ces conditions, tu peux établir ton circuit de soudage de la façon suivante. Tu peux brancher soit la borne positive, soit la borne négative à une prise de terre selon tes besoins. Si la pièce à souder est branchée directement à la borne positive, tu te trouves à avoir relié cette borne à la terre. Ainsi, en polarité normale, c'est la pièce qui est reliée à la terre.

Inversement, c'est la borne négative qui est reliée à la terre lorsque tu soudes en polarité inverse. Tu ne dois surtout pas relier la borne négative à la terre si la borne positive est déjà branchée à la pièce. Il y aurait alors conflit de masse, car tu sais très bien que ta pièce est sur une table qui touche le sol.

Un circuit de soudage constitue un circuit électrique flottant. C'est pourquoi il permet de brancher une des deux bornes à la pièce à souder. Celle-ci constitue une prise de terre.

2. LES PLAGES DE COURANT DANS UN POSTE DE SOUDAGE

En général, un poste de soudage offre deux plages de courant. On peut les sélectionner, soit par une commande de réglage, soit par l'enfichage d'une borne dans une prise destinée à cette fin. Ce sont les propriétés de base d'un transformateur qui permettent l'établissement de telles plages de courant.

Rappelle-toi un instant le module de prolongement 1. Il t'a montré comment calculer la tension au secondaire d'un transformateur pour une tension fixe au primaire. Le rapport du nombre de tours de fils du primaire au secondaire est égal au rapport des tensions. Tu as également appris, dans le module d'acquisition 1, que l'intensité du courant au secondaire diffère de l'intensité au primaire. La diminution de tension au secondaire est accompagnée d'une augmentation de l'intensité de courant. Que se produirait-il, selon toi, si l'on faisait diminuer le nombre de tours de fils au secondaire? Examine la figure 18 de façon à répondre à cette question.

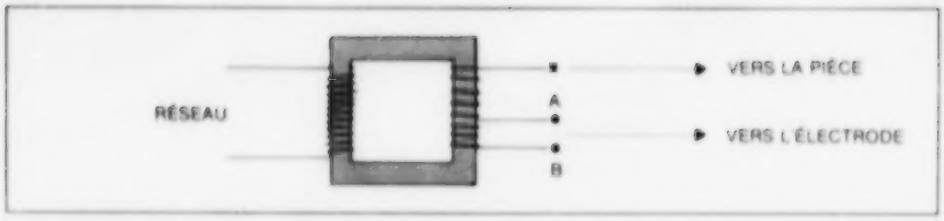


Figure 18 : Transformateur à deux plages.

Cette figure devrait t'aider à mieux comprendre l'option offerte par un transformateur à deux plages. Supposons, dans un premier temps, que l'électrode est branchée à la position A. Le nombre d'enroulements est plus petit que dans le cas où cette électrode serait branchée au point B. La tension au secondaire est plus faible et l'intensité plus élevée. C'est à ce moment que l'on parle de **plage supérieure**. Regarde maintenant ce qui se produit si le nombre d'enroulements est plus grand. L'électrode est branchée au point B. La tension est alors plus élevée que dans le premier cas et l'intensité de courant est réduite. C'est la **plage inférieure**.

Avec ce genre de dispositif, il est préférable de choisir la plage inférieure. L'arc électrique est plus stable. Tu auras l'occasion d'approfondir cette caractéristique de stabilité dans le prochain cahier.

3. LE RÉGLAGE DE L'INTENSITÉ DU COURANT D'UN POSTE DE SOUDAGE

Dans toute opération de soudage, il faut choisir la valeur d'intensité de courant qui convient le mieux au travail en question. Le choix d'une plage de courant rend possible l'utilisation d'une gamme d'intensité de courant. Généralement, tu peux régler la source de façon à ce qu'elle débite un courant donné à l'aide d'une manivelle disposée sur le boîtier. Dans ce genre de source, le réglage du courant se réalise par l'intervention d'un « shunt magnétique ». Regardons ensemble ce dispositif.

Un shunt pour courant d'air

Afin de rendre plus concrètes les notions qui suivent, nous te proposons une comparaison. Imagine une école avec des divisions structurées de la façon suivante.

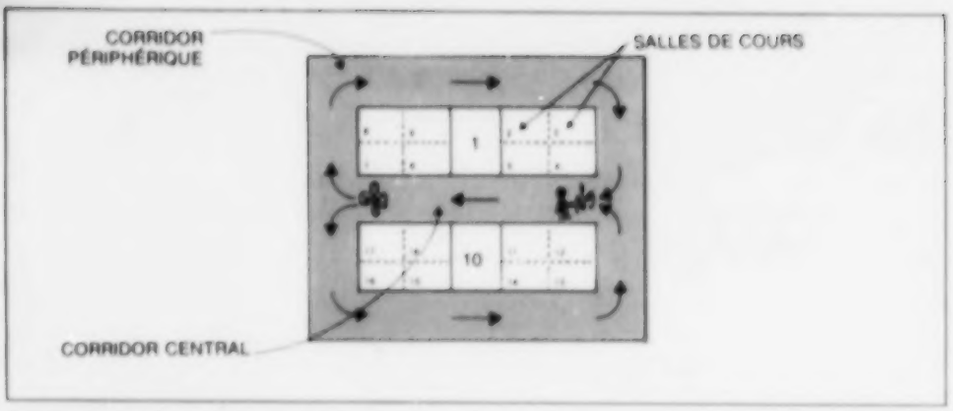


Figure 19 : Structure de l'école.

La figure 19 te montre un corridor périphérique et un corridor central. Dans le corridor central, on installe un système de ventilation assurant une meilleure circulation de l'air. Cela consiste en un ventilateur placé à l'extrémité gauche du corridor. L'air se déplace de la façon indiquée par les flèches.

Un étudiant se place à l'extrémité droite du corridor central. Son but est d'observer la vitesse du courant d'air. Il utilise pour cela une petite hélice qu'il tient dans sa main. Il prend en note la vitesse de cette hélice. Voyons maintenant ce qui pourrait bien modifier cette vitesse. Examine de nouveau la figure 19. Tu remarques qu'il y a 18 classes. Supposons que les classes 1 et 10 possèdent de grandes portes permettant de communiquer avec tous les corridors. Comment le courant d'air s'établira-t-il si ces portes sont ouvertes? Qu'est-ce que cette nouvelle division de classes entraînera sur le résultat observé par l'élève avec son hélice? Examine la figure 20.

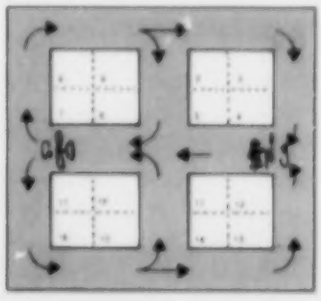


Figure 20 : Nouvelle division des classes.

Tu as deviné qu'une partie du courant d'air emprunte maintenant le nouveau corridor formé par les deux classes. L'étudiant qui observe la vitesse du vent verra son hélice tourner moins vite. Il ne recevra que la partie du courant d'air n'ayant pas emprunté le nouveau corridor.

Les deux salles 1 et 10 constituent ce qu'on pourrait appeler un « shunt » pour le courant d'air. De l'air, qui auparavant devait parcourir le corridor périphérique, emprunte maintenant de nouvelles voies pour revenir au ventilateur.

Le transformateur et le shunt magnétique

Tu as déjà eu l'occasion de voir l'illustration simplifiée d'un transformateur dans le module de prolongement ? Deux bobines sont enroulées sur les côtés opposés d'une armature carrée en fer. En réalité, cette armature est un peu plus complexe. Elle ressemble plutôt à ce qui est dessiné dans la figure 21.

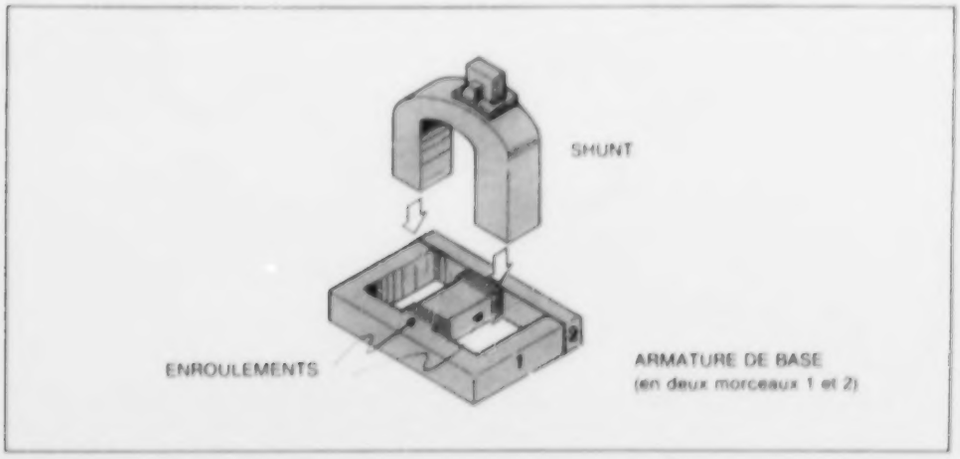


Figure 21 : Armature avec shunt du transformateur.

Examinons en détail cette figure. Les deux enroulements de fils constituent le primaire et le secondaire du transformateur. Une pièce métallique en forme de fer à cheval peut s'insérer entre ces deux enroulements de façon à s'emboîter dans l'armature de base. C'est le **shunt magnétique**.

Lorsque ce shunt est abaissé, il fournit au champ magnétique un autre chemin possible entre le primaire et le secondaire. Cela modifie les conditions créées au secondaire. En d'autres mots, la tension et l'intensité de courant ne sont pas les mêmes au circuit secondaire.

Nous venons de te parler d'un deuxième chemin possible pour le champ magnétique. De plus, nous t'avons tracé un schéma plus réaliste d'un transformateur. Tout cela ne te fait-il pas penser à la comparaison que nous t'avons présentée auparavant ? Si ce n'est pas évident pour toi, regardons plus en détail cette comparaison.

Shunt pour courant d'air	Shunt magnétique
Considérons dans un premier temps la division avec un seul corridor central (Fig. 19).	Considérons dans un premier temps le shunt complétement retiré du transformateur (Fig. 21).
Le point le plus à gauche du corridor central constitue le point de départ du courant d'air. Ce dernier est généré par le ventilateur.	L'enroulement situé à gauche constitue le primaire branché au réseau d'électricité. Le point situé sur la travée centrale de l'armature sous cet enroulement est le point de départ du champ magnétique.
L'air s'écoule dans les corridors périphériques pour revenir par l'autre extrémité du corridor central.	Le champ magnétique s'oriente vers les travées périphériques de l'armature pour rejoindre la travée centrale située sous la bobine du secondaire.
Le courant d'air amène la rotation de l'hélice tenue par l'élève.	Le champ magnétique induit une tension dans l'enroulement du secondaire.
Tout le courant d'air se rend à l'élève de sorte qu'il constate une vitesse maximale.	Tout le champ magnétique agit au secondaire de sorte que la tension induite est maximale.

Shunt pour courant d'air	Shunt magnétique
Considérons maintenant la division d'école avec les classes ouvertes (Fig. 20).	Considérons maintenant le shunt emboîté dans le transformateur.
Le courant d'air se voit offrir de nouveaux chemins pour revenir au corridor central.	Le champ magnétique se voit offrir de nouveaux chemins pour revenir au primaire.
Comme seulement une partie du courant se rend à l'élève, celui-ci constate une vitesse de rotation moins élevée de son hélice.	Comme seulement une partie du champ magnétique se rend à la bobine de droite, la tension induite est plus faible.

En fait, le shunt magnétique peut s'insérer à différents degrés dans l'armature de base. Comme la pénétration du shunt peut varier de façon con-

tinue, on peut obtenir une gamme de tensions au secondaire. Comme la tension est ajustable, le courant est également variable. C'est la manivelle de contrôle qui permet de modifier la profondeur de pénétration du shunt. Les valeurs de tension et d'intensité de courant sont donc modifiées sans que le nombre d'enroulements des bobines soit changé.

Amplificateur magnétique

Il existe d'autres dispositifs qui ont pour fonction de contrôler le courant de la source. On rencontre par exemple des postes de soudage utilisant le principe de **l'amplificateur magnétique**. Dans ce genre d'appareil, il n'y a pas de manivelle mais plutôt un bouton de contrôle que l'on tourne. Ce bouton actionne une résistance variable qui modifie les propriétés d'un système de bobines situées dans le circuit du secondaire du transformateur. La description de ce dispositif est complexe. Nous n'élaborerons pas plus sur le sujet. Nous ne voulons que t'indiquer ici cette possibilité. Le commerce offre effectivement des postes de soudage utilisant ce principe.

SAVAIS-TU QUE...

LE MÉCANISME INTERNE D'UNE SOURCE EST BEAUCOUP PLUS COMPLEXE QUE CE QUE NOUS AVONS SCHÉMATISÉ À LA FIG. 21. VOICI LE PLAN DE LA PARTIE SHUNT-TRANSFORMATEUR D'UNE SOURCE DE COURANT TEL QU'IL EST PRÉSENTÉ DANS UN MANUEL D'ENTRETIEN.

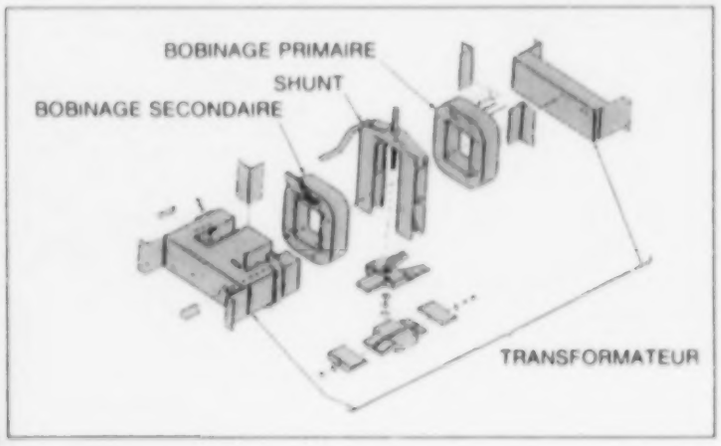


Figure 22 : Transformateur et shunt d'une source de courant.

La tension aux bornes d'une source de courant

As-tu déjà regardé les aiguilles des cadrans d'une source de courant alors qu'un confrère était en train de souder? Si c'est le cas, tu devrais avoir remarqué que ces aiguilles bougent continuellement. Le voltmètre et l'ampèremètre semblent reliés entre eux. Leurs indications changent sans que tu n'aies modifié ton choix de courant de soudage. C'est la longueur d'arc qui cause ce phénomène. Comment cela s'explique-t-il? Si tu le veux bien, nous te proposons d'étudier cette question dans les prochaines pages. Tu pourras mieux en comprendre les conséquences sur l'opération de soudage.

Résistance interne d'une source de courant

Toutes les sources de courant possèdent ce qu'on appelle une résistance interne. Pour t'en convaincre, regarde avec nous l'exemple de la batterie d'automobile. Comment réagit-elle au démarrage du moteur? Tu sais tout d'abord que cette batterie développe 12 volts. Une réaction chimique se produit à l'intérieur de la batterie lorsque cette dernière est sollicitée. Cela provoque un déplacement de charges électriques dans les fils reliés au mécanisme qu'on veut utiliser (par exemple la radio ou les phares).

Lorsque tu allumes les phares d'une voiture avant de procéder au démarrage du moteur, tu constates que l'éclairage atteint une certaine intensité. Cependant, tu as sûrement déjà remarqué que la luminosité des phares s'abaisse considérablement lorsque tu mets le démarreur en marche. Et ceci dure tant que le démarreur est actionné. De façon à bien comprendre ce phénomène, abordons ensemble une caractéristique propre à toute batterie, soit la résistance interne. Il a été démontré que lorsqu'un accessoire tire un certain courant, la résistance interne de la batterie fait décroître sa tension. L'accessoire reçoit donc un courant moins fort, d'où la diminution de sa performance. Il est possible de prouver cette affirmation en utilisant une relation mathématique que tu connais déjà, soit la loi d'Ohm. Regardons cela ensemble.

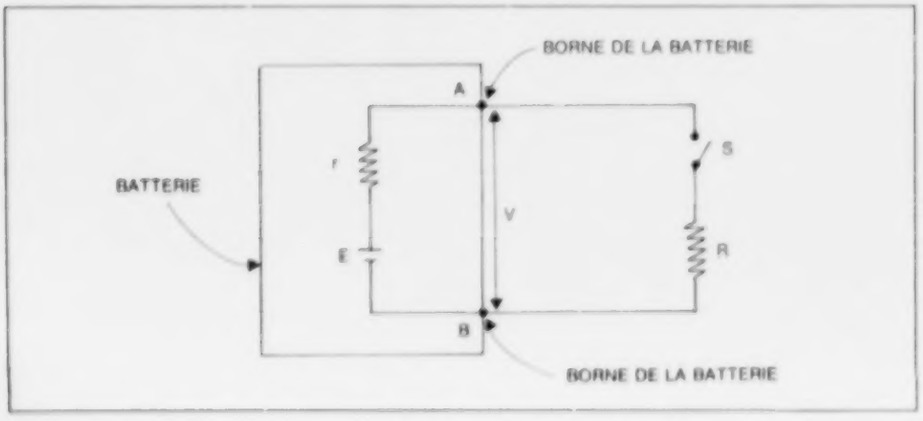


Figure 22: Aspect interne d'une batterie reliée à un circuit.

Imagine les deux points A et B du montage de la figure 22 comme les pôles d'une batterie. L'intérieur de cette batterie peut être représenté par deux éléments. Ils sont schématisés par le symbole d'une résistance interne « r » et le symbole d'une batterie « E ». Une batterie idéale serait une batterie qui fournit toujours une tension constante. Ce type de batterie n'existe qu'en théorie. En pratique, une résistance interne propre à la batterie agit toujours de façon à modifier la tension fournie.

La figure 22 montre également un circuit dans lequel la batterie remplit son rôle. Supposons que l'élément « R » est la charge du circuit. Rappelle-toi que la charge d'un circuit électrique est un terme général qui englobe les appareils nécessitant du courant. On prend souvent comme exemple simple une résistance pour représenter cette charge. C'est ici le cas. Cette résistance symbolise par exemple notre démarreur d'auto qui a besoin de courant pour tourner. Le symbole « S » de la figure 22 représente l'interrupteur qui rend le circuit opérant. Lorsque cet interrupteur est fermé, le circuit est fermé et le courant circule. Lorsqu'il est ouvert, le circuit est ouvert et le courant ne peut pas circuler.

Ainsi, quand le circuit est ouvert, aucun courant ne sort de la batterie. Cependant, une tension se présente tout de même aux bornes de celles-ci. La tension « V » entre les points A et B correspond à la tension « E » idéale. On appelle cette tension **force électromotrice** ou **fem.** C'est une caractéristique propre à une batterie.

Supposons que cette valeur de tension vaut 12 volts comme c'est le cas pour une batterie d'automobile. Regardons ce qui se produit si l'interrupteur du circuit est fermé. À ce moment, le démarreur représenté par la charge « R » sollicite du courant. On s'aperçoit, grâce à des mesures, que la tension « V » entre les points A et B subit un changement. Elle n'est plus égale à la valeur de tension « E ». De façon à découvrir cette nouvelle valeur de tension, il faut se rappeler quelques notions du deuxième cahier.

Dans un premier temps, tu constates que les deux résistances sont branchées en série. Le même courant circulera à travers « r » et « R ». La résistance globale du circuit est donc « r + R ». De plus, la tension de base générée par ce circuit est « E ».

Dans un deuxième temps, tu dois te rappeler la loi d'Ohm qui exprime une relation entre la tension, la résistance et le courant d'un circuit électrique : $V = RI$. Connaissant ce que représentent les symboles V, R et I dans cette loi, tu peux remplacer ces symboles par les valeurs de notre circuit de la figure 22.

$$V = RI$$
$$E = (r + R)I$$

Si l'on n'avait considéré la batterie que de l'extérieur, on aurait gardé la forme $V = RI$. En effet, la tension aux bornes des points A et B est V et la charge est R. En tenant compte de ces deux aspects, on peut en arriver à une nouvelle relation mathématique. Celle-ci nous aiderait à voir la différence entre E et V.

$E = (r + R)I$
$E = rI + RI$
$E = rI + (V/I)I$
$E = rI + V$
$V = E - rI$

$V = RI$
$R = V/I$

Ce développement mathématique nous fait constater une chose: lorsqu'un courant I est sollicité d'une batterie, cette dernière fournit une tension affaiblie par rapport à sa tension idéale E.

Dans l'exemple de la voiture, nous avions E = 12 volts. Prenons d'autres valeurs réalistes concernant r et I. Un démarreur peut tirer par exemple 50 ampères et la résistance interne de batterie se limite souvent à une valeur d'environ 0,1 ohm. Avec ces valeurs, nous pouvons obtenir une valeur de tension V. Cette valeur est $V = E - rI$

$= 12 - (0,1)(50)$
$= 12 - 5$
$= 7$ volts.

Ainsi, la tension aux bornes de la batterie, lorsque le démarreur est actionné, n'est que de 7 volts. Par conséquent, les phares, s'ils étaient allumés avant le démarrage, reçoivent maintenant une tension de 7 volts au lieu de 12. Leur éclat est réduit considérablement. Cela ne dure que le temps du démarrage. Pour résumer cet exemple, nous te proposons de retenir les trois conclusions suivantes.

1. **Une batterie possède deux caractéristiques: sa force électromotrice E et sa résistance interne r.**
2. **La force électromotrice E est la tension aux bornes lorsque la batterie ne débite aucun courant.**
3. **Lorsque la batterie débite un courant, la tension qui apparaît à ses bornes est réduite. Cette tension est $V = E - rI$.**

Ces conclusions pourront grandement t'aider lorsque tu aborderas la matière relative à un poste de soudage. Nous traiterons alors de courbe volts-ampères d'une source. Cependant, il serait utile de commencer par tracer cette courbe pour une simple batterie comme celle que nous venons de voir.

Graphique volt-ampère d'une batterie

Nous venons de réaliser que la tension aux bornes d'une batterie change avec le courant électrique. Nous avons calculé par exemple la valeur de tension correspondant à un courant de 50 ampères. Cependant, nous pouvons visualiser les résultats associés à d'autres valeurs de courant à l'aide d'un graphique appelé **courbe volt-ampère.** En nous référant à l'exemple précédent, traçons ici la courbe volt-ampère de notre batterie. Nous conserverons les valeurs E = 12 volts et r = 0,1 ohm. Voici un tableau qui précise les valeurs obtenues pour tracer cette courbe.

I (ampères)	0	20	40	60	80	100	120
V = E – rI (volts)	12	10	8	6	4	2	0

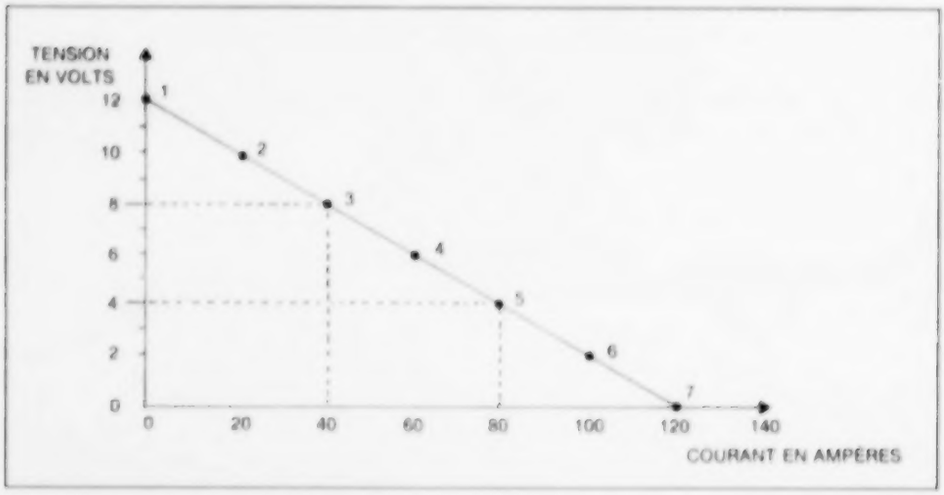


Figure 23 : Graphique volt-ampère d'une batterie.

Comme tu peux le constater sur ce graphique, un point est formé par la rencontre des deux droites correspondant aux valeurs de tension et d'intensité. Par exemple, la ligne pointillée de 40A rencontre la ligne pointillée de 8V au point 3. La droite tracée passe par chacun des sept points calculés dans notre tableau. De plus, les valeurs intermédiaires s'obtiennent de façon directe grâce à cette droite. Le nom adopté pour le résultat final est le **graphique volt-ampère de la batterie.** Ce graphique demeure une droite tant que la température de la batterie n'est pas modifiée.

Graphique volt-ampère d'un poste de soudage

Ce que tu viens de lire se rapporte directement à une caractéristique importante d'une source de courant utilisée en soudage. En effet, les manuels d'instructions de ces sources présentent tous des courbes volt-ampère qui donnent un aperçu des valeurs de tension et d'intensité disponibles.

Par exemple, un transformateur-redresseur possède également une caractéristique semblable à la résistance interne d'une batterie. C'est **l'impédance de la source**. Cette nouvelle notion se rapproche de celle apprise précédemment au sujet de la batterie. L'impédance est associée aux enroulements du transformateur et à la résistance des fils de ces bobines. L'échauffement des bobines sous l'action du courant électrique provoque une variation de la valeur de cette impédance. La description détaillée de ce phénomène devient

vite compliquée. On peut cependant représenter l'influence de l'impédance de la source sur la tension et l'intensité du courant électrique par l'entremise d'un graphique volt-ampère.

L'aspect de ce graphique diffère quelque peu de celui d'une batterie. C'est une courbe au lieu d'une droite. La figure 24 montre l'allure de ce graphique pour un ajustement fixe des contrôles de la source. Tu remarques la forme recourbée vers le bas de ce graphique. Lorsqu'un poste de soudage présente un graphique volt-ampère avec cette forme recourbée vers le bas, on dit que le poste a une caractéristique **plongeante** ou **tombante**. Évidemment une modification des contrôles du poste change ce graphique. Cependant, l'allure générale recourbée vers le bas demeure.

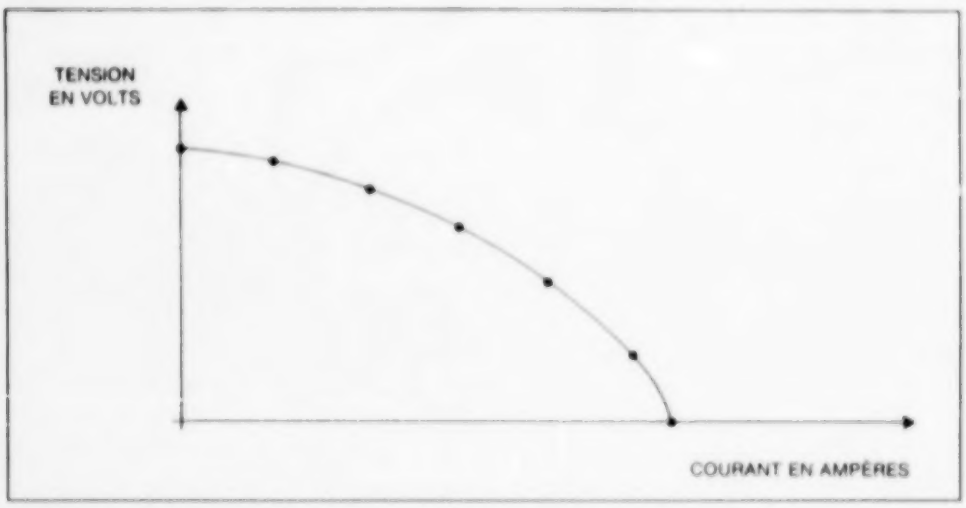


Figure 24 : Graphique volt-ampère d'une batterie.

Le passage d'une plage de courant à une autre amène une modification de cette courbe. La nouvelle courbe peut tomber plus ou moins rapidement selon le type de source. Enfin, certaines sources montrent une courbe plutôt plate ou légèrement tombante. Ce genre de source est utilisé dans des procédés spéciaux de soudage tel le MIG (soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible).

En général, le fabricant fournit dans le manuel d'utilisation d'un poste les graphiques volts-ampères. Ces informations pourront t'être utiles, car elles te permettront de mieux comprendre l'évolution des caractéristiques du courant électrique lorsque tu modifies les contrôles de la source. Tu trouveras dans le cahier suivant de l'information supplémentaire à ce sujet.

Tu as déjà appris que le passage du courant électrique dans les bobines du transformateur produit un dégagement de chaleur. Celui-ci est causé par la résistance des fils des bobines. L'évacuation de cette chaleur ne se produit que lentement, car les fils à l'intérieur des bobines ne sont pas bien aérés.

En conséquence, une utilisation continue trop prolongée d'un poste de soudage peut conduire à une surchauffe des transformateurs.

À un certain moment, les enroulements de fils peuvent même fondre et « se souder » entre eux, ce qui rend le poste inutilisable. Afin d'éviter un tel accident, le fabricant donne dans le manuel d'utilisation le **facteur de marche** de l'appareil. Il s'agit d'un graphique permettant d'évaluer ce facteur selon la valeur de l'intensité du courant débité par la source. La figure suivante montre un exemple.

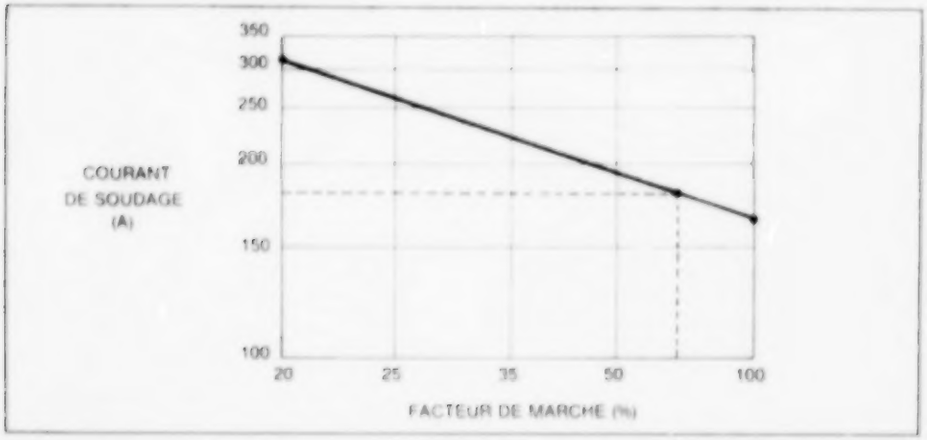


Figure 25 : Graphique du facteur de marche.

Quelle est la signification du facteur de marche ? Voici la réponse. Suppose un facteur de marche de 30 %. Cela indique en réalité que tu peux souder durant 3 minutes sur une période de 10 minutes. La source doit être au repos pendant 7 minutes pour permettre un refroidissement adéquat. Pour trouver ce facteur, il faut se servir du graphique. Pour t'exercer, suppose un deuxième exemple où le courant de soudage est ajusté à 180 ampères. La ligne pointillée tracée sur le graphique de la figure 25 permet de rejoindre un point sur la droite tracée. De là, une nouvelle ligne pointillée tracée à la verticale atteint le bas du graphique où sont indiqués les facteurs de marche. On estime dans cet exemple une valeur d'environ 60 %. Ainsi, cela signifie qu'à 180 ampères, il est possible de souder durant 6 minutes sur une période de 10 minutes. Observe toujours ces règles. C'est la seule façon de prolonger la durée d'utilisation de ta source au fil des années et surtout de la garder en bon état.

MODULE D'EXERCICES

1. Un transformateur est alimenté par une entrée de 220 volts et tire du secteur une puissance de 3,5 kW (ou 3500 watts). Il est construit d'un primaire à 600 tours de fil et d'un secondaire à 200 tours. On suppose négligeable la perte de puissance et la résistance interne.
   a) Quelle est la puissance livrée par le secondaire ?
   b) Quelle est la tension au secondaire ?
   c) Quelle est l'intensité du courant au primaire et au secondaire ?

2. La figure ci-contre présente un système à tiroirs entre une source de courant d'eau alternatif et une turbine qui fonctionne en courant d'eau continu.

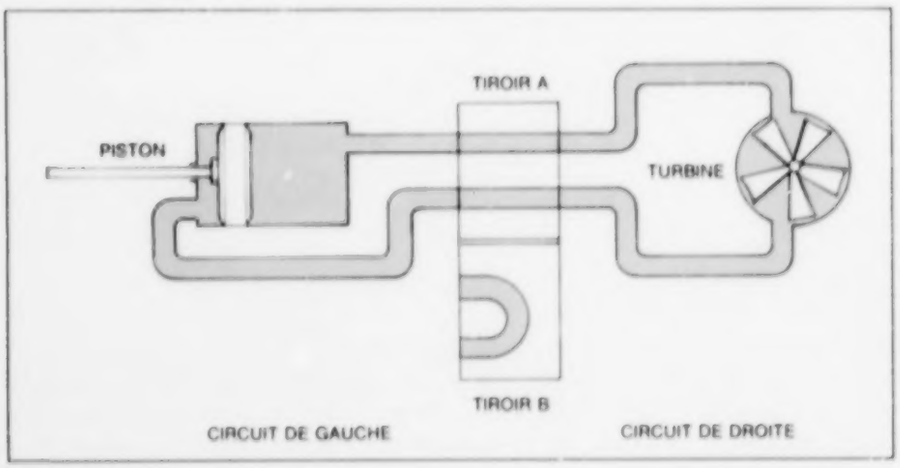


Figure 26

Sachant que les tiroirs sont alternés à chaque fin de course du piston, quel type de courant sera finalement obtenu dans le circuit de droite ?

3. Soit un circuit composé d'une source alternative, d'une ampoule et de deux diodes.

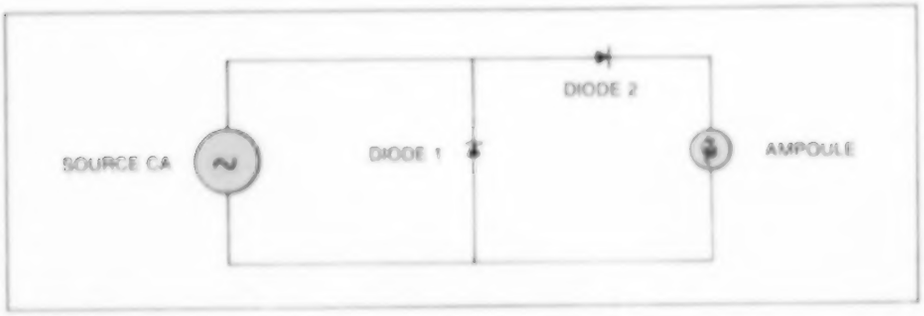


Figure 27

Est-ce que le courant électrique dans l'ampoule sera rectifié? Décris le cheminement du courant.

4. Avec l'aide du schéma déjà amorcé, dessine un **redresseur à eau**. Pour ce faire, utilise 4 diodes à eau comme celles présentées à la page 22. Dispose ces diodes de façon à respecter les conditions de fonctionnement d'un redresseur. Le schéma d'un redresseur électrique (Fig.13 ou 14) pourra t'aider dans ta démarche. Observe-le attentivement et tu pourras facilement construire ce que nous te demandons.

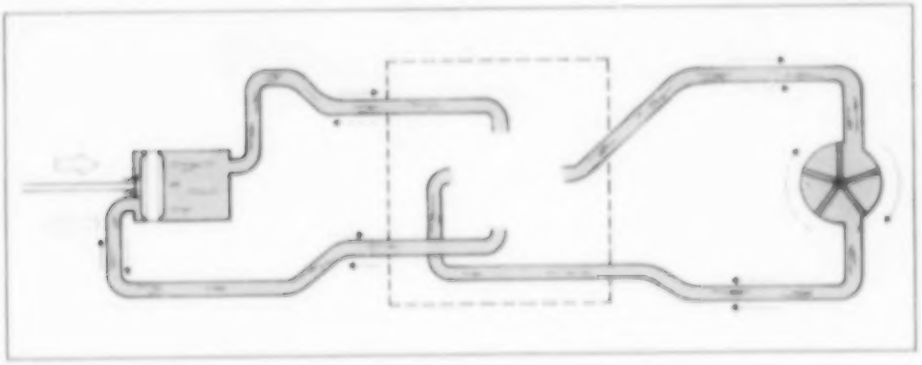


Figure 28

5. À quel moment la sortie d'une source de courant devient-elle flottante?
   a) Lorsqu'on peut brancher une prise de terre au boîtier de la source.
   b) Lorsque la source est facilement déplaçable.
   c) Lorsqu'elle permet la mise à la masse de l'une ou l'autre des deux bornes.

6. Une source offre deux plages d'utilisation. Le passage de la plage inférieure à la plage supérieure se réalise au moyen d'un contrôle qui retranche plusieurs enroulements au secondaire du transformateur. Quel effet cela provoque-t-il?
   a) Cela diminue la tension fournie par la source.
   b) Cela augmente la tension à vide fournie par la source.
   c) Cela ne change pas la tension à vide mais augmente seulement l'intensité du courant débité par la source.

7. Un fabricant de matériel de soudage donne, dans le manuel d'utilisation d'une source de courant, les graphiques volts-ampères. Il spécifie que les deux courbes représentées dans la figure 29 correspondent aux limites de la plage inférieure. Donc la région foncée de cette figure représente le domaine d'utilisation pour cette plage. De plus, la source est munie d'une manivelle servant à modifier le courant. Il devient ainsi possible par rotation de la manivelle de couvrir tous les points de ce domaine.

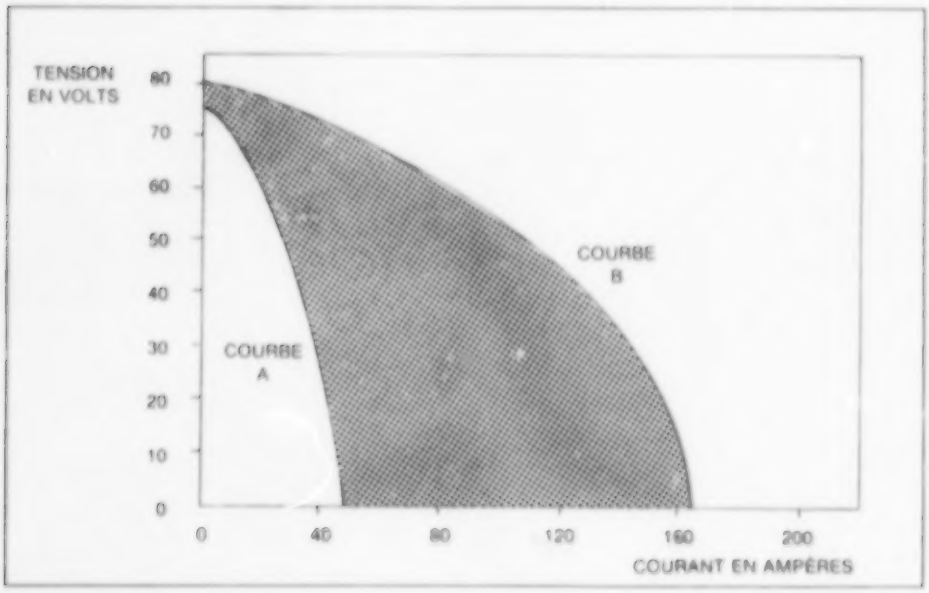


Figure 29 : Exercice 7.

   a) Quels sont le plus faible et le plus grand courants que permet cette plage lors de l'amorçage (électrode et pièce en contact) ?

   b) Est-il possible de souder avec un courant de 90 ampères sous une tension de 45 volts ?

   c) Est-il possible de produire une soudure avec un courant de 140 ampères sous une tension de 50 volts ?

   d) Dans quelles limites de la plage peut-on varier le courant pour une tension fixe de 40 volts ?

8. L'intensité du courant d'une source est modifiée pour une même plage au moyen d'un shunt magnétique. Quelle conséquence entraîne l'introduction de ce shunt entre le primaire et le secondaire?
   a) L'intensité du courant de la source diminue mais la tension augmente.
   b) L'intensité du courant augmente mais la tension diminue.
   c) L'intensité et la tension du courant diminuent.

9. Quel est l'effet de la résistance interne d'une source de courant?
   a) Rendre la tension aux bornes plus grande que la force électromotrice de la source.
   b) Rendre la tension aux bornes plus petite que la force électromotrice de la source.
   c) Limiter le courant de la source seulement.

10. Complète l'affirmation suivante. Les graphiques volts-ampères des sources de courant...
   a) sont les mêmes pour toutes les sources.
   b) sont les mêmes pour la plage inférieure et la plage supérieure d'une source.
   c) permettent de délimiter les domaines de courant et de tension possibles d'une source.

11. Le facteur de marche d'une source de courant a été établi à 40%. Qu'est-ce que cela signifie sur une période de 10 minutes?
   a) Il faut laisser la source arrêtée durant 40% du temps.
   b) Il ne faut l'utiliser que 40% du temps.
   c) Il ne faut l'utiliser qu'à 40% de son intensité maximale.

SOLUTIONS DES EXERCICES

1. a) Sans perte, la puissance au secondaire est la même qu'au primaire, soit 3,5 kW.

   b) Tension au secondaire = 220 volts $\times \frac{200}{600}$ = 73,3 volts.

   c) Puissance $P = VI$ donc $I = \frac{P}{V}$;

   au primaire $I = \frac{3500 \text{ watts}}{220 \text{ volts}}$ = 15,9 ampères;

   au secondaire $I = \frac{3500 \text{ watts}}{73,3 \text{ volts}}$ = 47,7 ampères.

2. Le courant d'eau à droite sera toujours dans le même sens mais interrompu. Lorsque le piston va vers la droite, c'est le tiroir du haut (tiroir A) qui est en action; l'eau passe et la turbine fait un demi-tour dans le sens horaire. Ensuite le piston se déplace vers la gauche. Le tiroir B est alors mis en place. L'eau ne se rend pas dans le circuit de droite et la turbine ne tourne pas; le mouvement répété rapidement et plusieurs fois donnera une rotation de turbine par coups successifs. On aura affaire à un courant pulsé.

3. Ce circuit électrique produit pour l'ampoule le même courant électrique que le courant d'eau qui circulait à travers la turbine dans l'exercice précédent. Pour une tension positive en haut (et négative en bas) de la source, le courant traverse la diode (2) et donc l'ampoule. Au demi-cycle suivant (positif en bas et négatif en haut), le courant traverse la diode (1) et retourne directement à la source. L'ampoule ne reçoit alors aucun courant.

4.

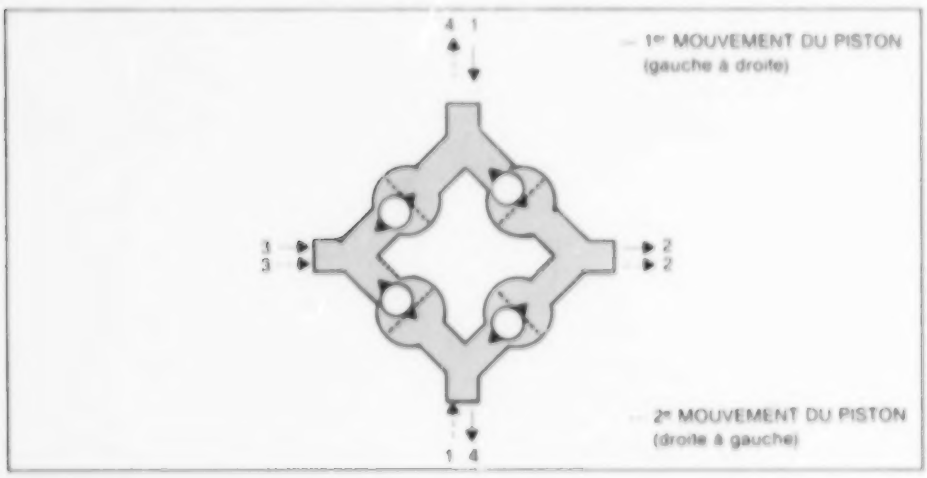


Figure 30

5. [c]

6. [a]

7. a) Le courant en court-circuit varie de 48 ampères à 165 ampères.

   b) Oui, car le point de rencontre des droites tirées de 90 ampères et 45 volts se trouve à l'intérieur de la région foncée du graphique.

   c) Non, car le point de rencontre des deux données se trouve cette fois à l'extérieur de la région foncée du graphique.

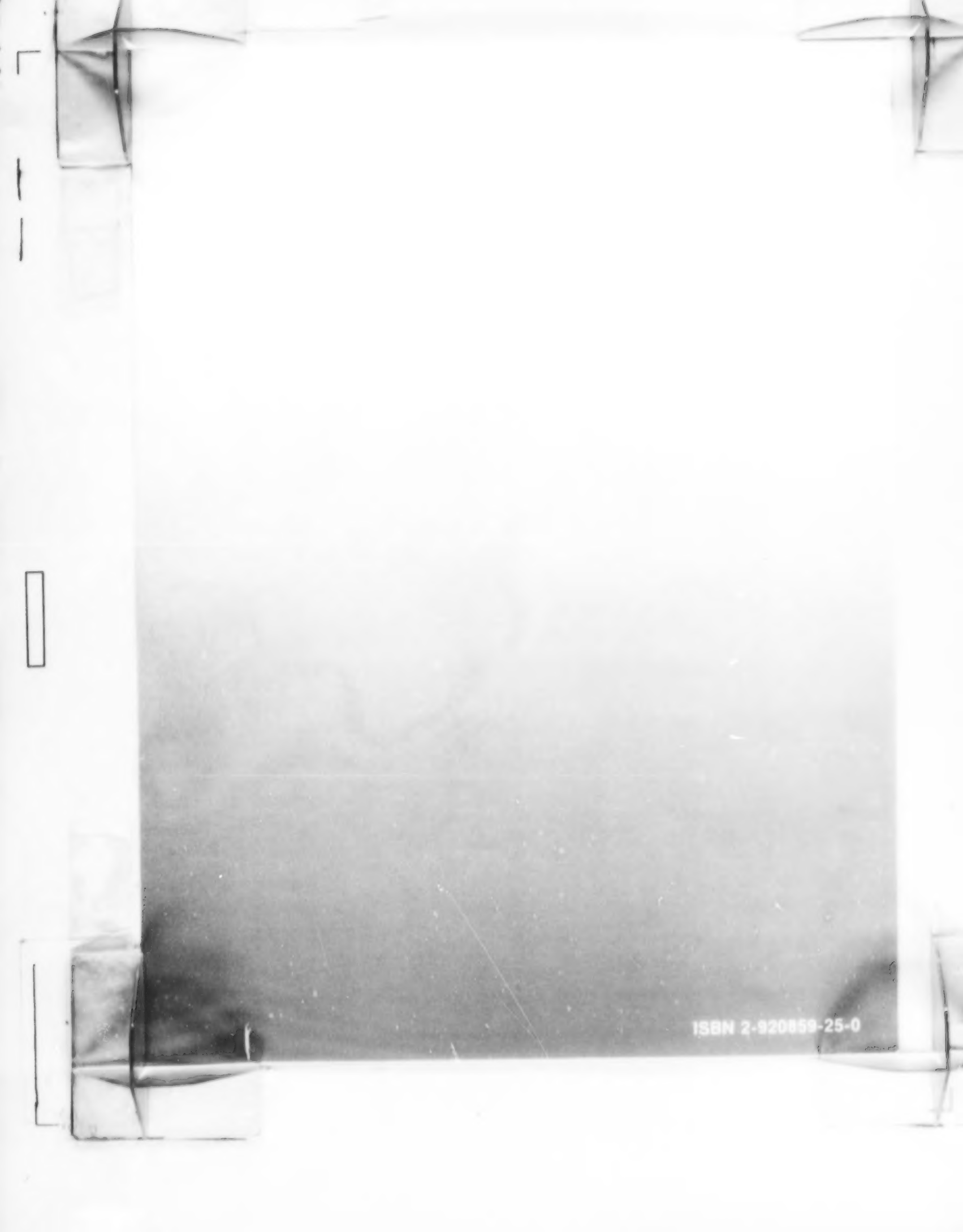
   d) Entre 38 ampères et 130 ampères environ.

8. [b]

9. [b]

10. [c]

11. [b]



ISBN 2-920859-25-0

F I N

Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8970231
Centre d'intérêt: 874

Simard, Paul-Aimé.

Phénomènes électriques en soudage / Paul-Aimé Simard, Richard Parent, Hélène Hensler [pour l'Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation]. -- 2e éd. rev. et corr. -- [Sherbrooke] : Editions du CRP, [1989?-1989?]. 5 v. (43 ; 44 ; 51 ; 39 ; 52 p.) : ill. ; 25 cm. -- (Concepts scientifiques de base)Dépouillement: v. 1. Le courant électrique -- v. 2. Le circuit électrique -- v. 3. Les sources de courant -- v. 4. L'arc électrique -- v. 5. Les conducteurs électriques.

ISBN 2-920859-21-8

ISBN 2-920859-22-6

ISBN 2-920859-25-0

ISBN 2-920859-26-9

ISBN 2-920859-27-7

Vedette(s)-secondaire(s): Parent, Richard • Hensler, Hélène • Université de Sherbrooke. Faculté d'éducation

Descripteur(s): Techniques physiques • Formation professionnelle • Manuel scolaire • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Sondage • Electricité

Le manuel a été rédigé à l'intention des élèves en soudage du secondaire professionnel. Il aborde le domaine de l'électricité et expose des notions qui peuvent aider l'élève à mieux comprendre certains gestes qu'il exécute ou certains phénomènes qui se produisent lorsqu'il soude à l'arc électrique. Le manuel traite de cinq grands thèmes: 1. le courant électrique; 2. le circuit électrique; 3. les sources du courant électrique; 4. l'arc électrique; 5. les conducteurs électriques. Dans le but d'aider l'élève à mieux aborder chacun de ces cinq thèmes, on met à sa disposition, au début de chaque thème, des fiches d'information qui indiquent les problèmes abordés dans le thème, les objectifs généraux et spécifiques visés, la démarche à suivre et le contenu du thème divisé en modules de divers types. La plupart des modules se terminent par une série de questions-synthèses. Cette évaluation préliminaire permet à l'élève de vérifier au fur et à mesure son degré de compréhension de la matière.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8770569

EDUQ
0970231-0

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

4e cahier — L'arc électrique

2e édition

Richard Parent
Paul-Aimé Simard
Hélène Hensler

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ÉDITIONS DU CRP

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

4e cahier — L'arc électrique

Richard Parent,
Ingénieur en mécanique et chercheur
à l'Université de Sherbrooke

Paul-Aimé Simard,
Professeur au département de Physique
de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke

Hélène Hensler,
Professeure au département de Pédagogie
de la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

ISBN 2-920859-26-9

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 1er trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

L'ARC ÉLECTRIQUE

- Fiche d'information 4
- Module d'introduction 5
- Module d'acquisition 1 7
  Le plasma
- Module d'acquisition 2 12
  L'arc en courant continu
- Module d'acquisition 3 19
  L'arc en courant alternatif
- Module de prolongement 24
  L'arc électrique :
  la résistance variable des soudeurs
- Fiche de synthèse 27
- Fiche d'évaluation 29
- Module de complément 31
- Module d'exercices 37

FICHE D'INFORMATION

Problèmes abordés

Tu abordes maintenant la partie du circuit électrique qui te concerne le plus. En effet, ce cahier présente la matière relative à l'arc électrique qui, après la source et les conducteurs, constitue la troisième partie de ton circuit de soudage. L'étudier te permettra de répondre à une question essentielle qui touche les conséquences engendrées par l'arc électrique.

Lorsque tu effectues une soudure en utilisant le courant continu, tu obtiens une distribution de chaleur inégale, soit environ les deux tiers à la borne positive et le reste à la borne négative. Tu sais très bien que, lorsque tu utilises le courant alternatif, la chaleur se distribue de façon égale. Pourquoi de tels phénomènes se produisent-ils ?

Lorsque tu modifies ta longueur d'arc en pleine opération de soudage, tu t'aperçois que les conditions sont modifiées. Par exemple, le niveau de fusion change. Qu'est-ce qui explique cela et quand as-tu avantage à faire de telles modifications ?

Objectifs visés

OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de ce module est de concevoir la structure interne d'un arc électrique et d'en déduire les implications.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Définir ce qu'est un arc électrique et identifier les principales conditions nécessaires au maintien de cet arc.
- Définir ce qu'est le plasma et identifier les particules en présence dans ce plasma.
- Décrire le phénomène d'ionisation.
- Associer une charge électrique aux particules en présence dans l'arc.
- Comparer le poids des particules en présence dans l'arc.
- Décrire le déplacement des charges électriques dans l'arc et distinguer les conséquences engendrées par ces déplacements.
- « Résoudre l'énigme » de l'inégalité de la distribution de chaleur dans un arc en courant continu.
- Expliquer pourquoi les électrodes d'un arc en courant alternatif s'échauffent également.
- Associer la notion d'arc à celle de résistance électrique variable et indiquer pour quelles raisons une telle association peut se faire.
- Établir le graphe V-I d'un arc électrique.
- Reconnaître les conditions influençant la stabilité d'un arc électrique.

L'arc électrique et la foudre

Depuis le début de tes études, tu as souvent eu l'occasion de pratiquer la technique du soudage à l'arc en atelier. Tu as tout d'abord appris la façon d'amorcer un arc électrique. C'est par un contact bref de l'électrode avec la pièce que l'arc est créé. Ensuite, la source de courant entretient le tout de façon continuelle. Elle fournit une grande quantité d'énergie qui se concentre alors dans l'arc. Tu as remarqué que cet arc dégage non seulement beaucoup de chaleur mais également de la lumière. C'est la raison pour laquelle tes mains et tes yeux doivent être protégés.

As-tu déjà pensé que l'arc électrique pouvait s'apparenter à la foudre? En effet, en été, lorsque le temps est chaud et humide, les nuages se chargent d'électricité. Il arrive un moment où ils ne peuvent plus porter toute cette électricité. Des éclairs jaillissent alors entre deux nuages ou entre un nuage et le sol. En fait, l'éclair résulte du **courant électrique** émanant d'un nuage vers un autre nuage ou vers le sol. Si l'éclair ne dure qu'un instant, c'est que le nuage se décharge. Il n'y a pas de source de courant pour l'alimenter. Mais l'éclair émet beaucoup de lumière, tout comme un arc électrique. Lorsque tu en auras l'occasion, observe la couleur légèrement bleutée d'un éclair. Compare-la à celle de ton arc de soudage.

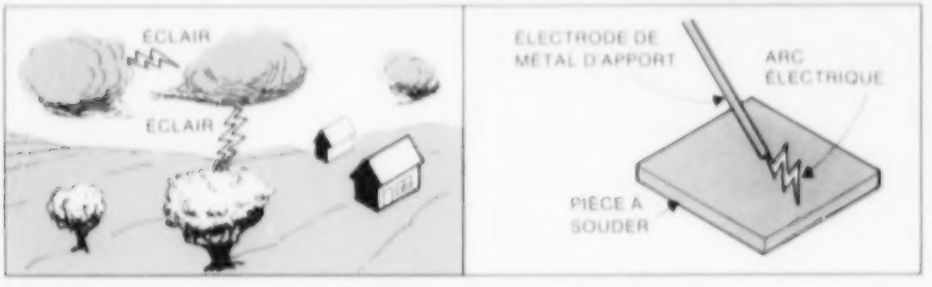


Figure 1 : Comparaison entre un éclair et un arc électrique.

Le maintien de l'arc électrique

Nous t'avons déjà dit pourquoi l'arc de soudage ne dure pas seulement un instant, comme dans le cas de l'éclair. Un courant électrique traverse de façon continuelle l'espace d'air entre les deux bornes de l'arc.

Comme tu le sais, tous les métaux sont conducteurs d'électricité. De plus, l'air entre deux pièces métalliques ne conduit pas le courant électrique. C'est un isolant. Il est possible cependant « d'allumer » cet espace d'air et de créer l'arc, d'où la définition suivante.

Un arc électrique est un éclair lumineux permanent créé entre deux électrodes parcourues par un courant électrique et dégageant une chaleur intense.

Tu remarqueras dans les prochaines pages deux petites tiges de métal apparaissant dans nos schémas de l'arc électrique. Elles représentent les deux électrodes de notre définition.

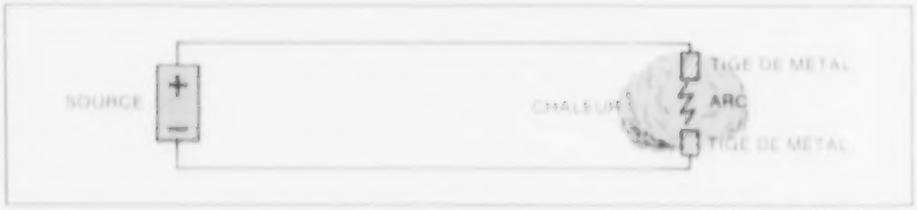


Figure 2 : Création d'un arc électrique entre deux tiges de métal ou électrodes.

La figure 2 schématise bien la définition générale d'un arc électrique. A partir de maintenant, concentre ton attention sur l'environnement bien spécifique de l'arc et de ses deux bornes (électrodes). C'est que, dans les prochains modules, nous te ferons faire un « voyage imaginaire » dans cet arc électrique « mystérieux ». Tu auras l'occasion de visualiser la grande activité régnant entre les deux électrodes et de mieux comprendre le pourquoi de ce phénomène. Nous pourrons finalement répondre ensemble à une question qui embarrasse de nombreux soudeurs, soit « Pourquoi une électrode chauffe-t-elle plus que l'autre lors du soudage en courant continu ? »

Est-ce que tu t'es déjà demandé d'où vient l'appellation « ARC » ? Lors d'un exercice de soudage à l'atelier, observe attentivement l'arc électrique quand tu éloignes quelque peu l'électrode de ta pièce. La zone lumineuse prend alors une forme légèrement courbée, c'est-à-dire *LA FORME D'UN ARC*. Cette observation devient plus évidente entre deux électrodes en forme de pointes.

SAVAIS-TU QUE...

BENJAMIN FRANKLIN EST À L'ORIGINE DE L'INVENTION DU PARATONNERRE. EN EFFET, C'EST LUI QUI, AVEC SES CERFS-VOLANTS, EXPÉRIMENTA L'IDENTITÉ ENTRE L'ÉLECTRICITÉ ET LA FOUDRE. C'ÉTAIT EN 1752.

LE PLASMA

Qu'est-ce que le plasma ?

Lorsque tu effectues une opération de soudage à l'arc électrique, tu provoques inconsciemment de nombreux phénomènes dans le petit espace occupé par l'arc. En réalité, il y règne une grande activité invisible à l'oeil nu. Il faut tout d'abord comprendre qu'il y a un **gaz** situé entre les deux électrodes. Celui-ci est **stimulé** par la chaleur en présence. Tu sais que cette chaleur est apportée par le courant électrique. Dans ces circonstances, le gaz se comporte de façon différente. On l'appelle à ce moment un **plasma**. En d'autres mots, **le plasma, c'est un gaz très chaud dans un milieu électrique**.

Figure 3: Espace de l'arc (présence du plasma).

L'air : un gaz ?

Nous sommes portés à croire que tous les gaz sont dangereux pour la santé. Par exemple, certaines personnes pensent que tous les gaz ont une mauvaise odeur. Eh bien, ce n'est pas le cas! En effet, **l'air** est non seulement inodore (n'a pas d'odeur), mais il est également incolore (n'a pas de couleur) et transparent (on voit au travers). De plus, il est essentiel à notre survie puisqu'il nous permet de respirer. C'est ce gaz qui est situé entre les deux bornes de l'arc électrique lorsque tu soudes.

Son analyse permet d'apprendre qu'il est composé d'azote et d'oxygène. Il contient également quelques autres gaz en petite quantité comme le néon et l'argon. Ainsi, l'air n'est pas un gaz unique mais un mélange de gaz. **Tout cela est bel et bien présent** entre ton électrode de métal d'apport et ta pièce à souder. Imaginons un moment que nous sommes capables d'examiner ces gaz à l'aide d'un microscope superpuissant. On verrait **qu'ils sont formés de particules**. Celles-ci sont tellement minuscules qu'on ne peut les voir.

Les particules d'un gaz

Tous les matériaux existant sur la terre sont composés de particules extrêmement petites. Un voyage imaginaire à l'intérieur d'un bloc de métal nous ferait voir les deux types de particules s'y retrouvant. Ce sont les **atomes** et les

électrons. Il est important de comprendre ici que cette structure n'existe pas seulement dans les matières solides, mais également dans les matières **liquides** et **gazeuses**.

Un gaz est donc constitué de particules appelées **atomes**. Suppose un moment que le gaz est visible. Observons ensemble un nuage de ce gaz. Il faut alors des milliards d'atomes pour former une petite section de ce nuage.

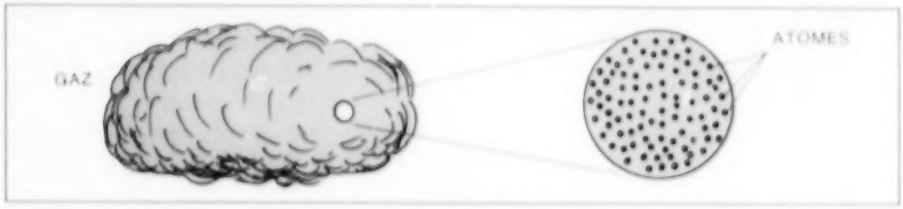


Figure 4 : Particules qui forment le gaz (les atomes).

Ces atomes contiennent à leur tour d'autres particules. En fait, les atomes d'un nuage de gaz ont un point commun avec les atomes d'un bloc de métal. Ils contiennent des **électrons**. Le cahier traitant des conducteurs électriques détaille la matière relative à la structure interne des métaux. Tu y apprendras que les électrons se déplacent dans les fils lorsqu'un courant électrique y circule. Pour l'instant, souviens-toi de l'encadré suivant.

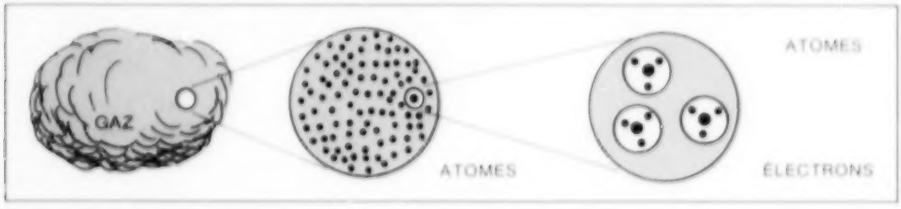


Figure 5 : Particules présentes dans les atomes (les électrons).

UN GAZ EST FORMÉ D'ATOMES.
LES ATOMES CONTIENNENT DES ÉLECTRONS.

Tu connais maintenant les particules présentes dans un gaz. Bien entendu, elles ne se comportent pas toutes de la même façon d'un gaz à un autre. C'est pourquoi les nombreux gaz associés aux diverses techniques de soudage donnent des résultats différents. Chaque gaz a des propriétés bien spécifiques.

Le phénomène d'ionisation

Les différentes particules que nous venons de te présenter sont soumises à un traitement spécial. En effet, le gaz présent entre les deux électrodes

est influencé par la grande quantité de chaleur en présence. Les électrons des atomes sont alors stimulés. Ils tentent de s'en séparer et de circuler librement. Ce phénomène est appelé **ionisation**. C'est un sujet qui sera également traité dans la matière relative aux conducteurs. L'ionisation provoque un certain désordre entraîné par cette liberté de mouvement des particules.

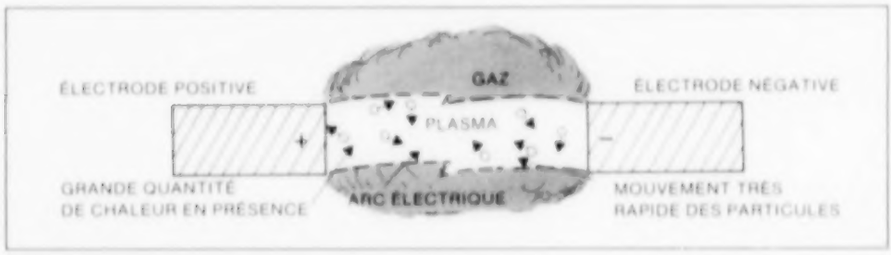


Figure 6 : Grande activité au niveau de l'arc.

Ainsi le phénomène d'ionisation se produit au niveau du plasma. On voit alors des électrons s'échapper des atomes. Un nouveau nom est attribué à l'atome ayant libéré un électron. On dit qu'il devient un **ion**. La figure 7 schématise le processus d'ionisation.

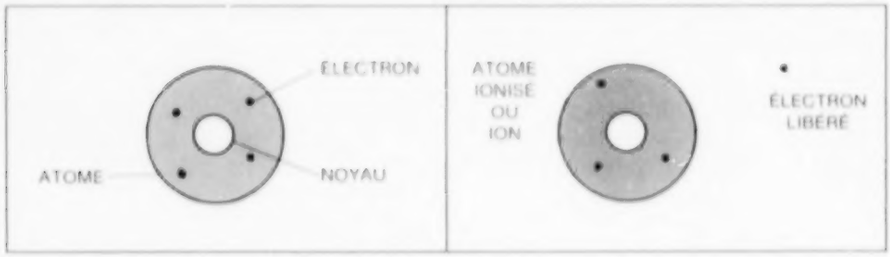


Figure 7 : Processus d'ionisation.

La charge électrique des particules

Une des conséquences entraînées par l'ionisation est le débalancement électrique. En effet, un atome dans un gaz possède autant de charges électriques positives que de charges électriques négatives. On dit qu'il est **électriquement neutre**.

Après l'ionisation, le gaz du plasma contient des **électrons** qui sont **chargés négativement** et des **ions** qui sont **chargés positivement**. Ces propriétés de charges électriques sont importantes pour la compréhension des phénomènes dans l'arc. Essaie de les retenir. Pour t'aider, regarde la figure 8 à la page suivante, elle résume le tout.

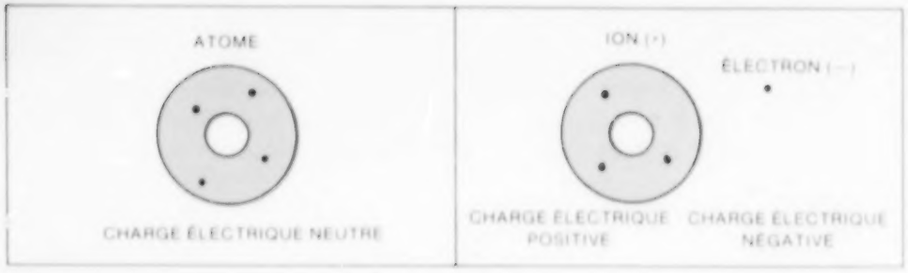


Figure 8 : Charge électrique des particules.

Le poids des particules (leur masse)

Les composantes du gaz que nous t'avons exposées précédemment (les atomes, les ions et les électrons) ont également une autre différence importante entre elles. C'est celle concernant **leur poids**.

En effet, si tu te souviens de notre schéma, l'électron est beaucoup plus petit que l'atome ou l'ion. Eh bien, dis-toi que la différence concernant leur poids est encore beaucoup plus grande. C'est comme si l'on comparait le poids d'une personne au poids d'une plume. **Les atomes et ions sont lourds tandis que les électrons sont légers**.

En résumé, les particules en mouvement dans le plasma ont des caractéristiques bien spécifiques. Les points à retenir se situent au niveau de la **charge électrique** et du **poids** de ces particules.

LES ATOMES :	ils ont une charge électrique *NEUTRE*. ils sont *LOURDS*.
LES IONS :	ils ont une charge électrique *POSITIVE*. ils sont *LOURDS*.
LES ÉLECTRONS :	ils ont une charge électrique *NÉGATIVE*. ils sont *LÉGERS*.

Connaissant les propriétés des particules du plasma, tu peux maintenant te familiariser avec le mouvement de ces particules. Ces notions sont essentielles pour bien comprendre le phénomène de l'arc électrique. Nous pouvons donc aborder le problème de la distribution de la chaleur aux deux électrodes. Tu sais que cette distribution est inégale en courant continu. Les modules d'acquisition 2 et 3 te présentent en détail l'arc électrique en courant continu et en courant alternatif.

- *Un gaz stimulé par un arc électrique entre deux électrodes se nomme* [redacted]
- *Le phénomène de libération d'un électron par les atomes d'un gaz se nomme* [redacted].
- *Indique quelles particules du plasma ont une charge électrique positive et lesquelles ont une charge négative.*
- *Le plasma contient des particules lourdes et des particules légères. Nomme-les.*

SAVAIS-TU QUE...

LE TERME IONOSPHÈRE, DÉSIGNANT LA COUCHE DE L'ATMOSPHÈRE SITUÉE AU-DESSUS DE 70 KM, A ÉTÉ INVENTÉ APRÈS QU'ON EUT DÉCOUVERT QUE CE NIVEAU ATMOSPHÉRIQUE PRÉSENTAIT UNE FORTE IONISATION DES PARTICULES DE L'AIR CAUSÉE PAR LES RADIATIONS COSMIQUES.

MODULE D'ACQUISITION 2

L'ARC EN COURANT CONTINU

Le soudage en courant continu

Lorsque tu réalises des soudures en atelier, tu utilises fréquemment le courant continu pour alimenter ton arc. Un des avantages présentés par ce type de courant est de permettre un certain choix dans la distribution de chaleur s'établissant de chaque côté de l'arc. Tu sais que **la borne positive reçoit une quantité de chaleur plus élevée que la borne négative**. Tu peux alors décider de l'endroit ou cette chaleur sera transmise : à ton électrode de métal d'apport ou à ta pièce à souder. C'est à ce moment que tu fixes ce qu'on appelle la polarité de soudage : **polarité normale** ou **polarité inversée**. (Voir cahier 1 — module d'acquisition 2).

Ainsi un arc en courant continu est produit entre deux bornes possédant des polarités différentes. Une électrode possède la polarité **positive** et l'autre électrode la polarité **négative**. Nous avons déjà discuté de la nature de ce qui se retrouve entre ces deux électrodes. C'est le **plasma**. Les deux premiers modules détaillaient cette matière. Voici un bref rappel.

1. L'ARC ÉLECTRIQUE EST GÉNÉRÉ DANS UN PLASMA TRAVERSÉ PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE.
2. LE PLASMA EST UN GAZ TRÈS CHAUD (généralement de l'air) QUI SUBIT LE PHÉNOMÈNE D'IONISATION.
3. LES ATOMES DU GAZ EN S'IONISANT DEVIENNENT DES IONS CHARGÉS POSITIVEMENT. ILS LIBÈRENT CHACUN UN ÉLECTRON CHARGÉ NÉGATIVEMENT.
4. LES IONS SONT PLUS LOURDS QUE LES ÉLECTRONS.

Le mouvement des particules dans le plasma

Le comportement des particules en présence dans le plasma peut t'aider à comprendre ce qui se produit dans un arc en courant continu. Nous venons de voir comment le phénomène d'ionisation entraîne un « déséquilibre électrique ». Les particules ne sont plus électriquement neutres. Prends note du principe suivant. **Lorsqu'une particule devient chargée électriquement, elle a tendance à se déplacer**. C'est une force électrique qui entre en jeu et la pousse dans une direction précise.

Cette direction dans laquelle toutes les particules voyagent est facile à retenir. Il faut se baser sur la règle suivante.

LES CHARGES DE MÊMES SIGNES SE REPOUSSENT.
LES CHARGES DE SIGNES DIFFÉRENTS S'ATTIRENT.

Qu'est-ce que cela veut dire ? Réfléchis bien ! Le schéma de l'arc électrique montre des particules voyageant entre deux électrodes (figure 6 du module précédent). Ces électrodes sont chargées électriquement. L'une d'elles est positive, l'autre est négative. De plus, nous t'avons déjà dit que les particules deviennent chargées électriquement. Les ions sont positifs et les électrons négatifs. Comme les charges de signes différents s'attirent, les ions positifs seront portés à aller vers l'électrode négative. De la même façon, les électrons négatifs seront attirés par l'électrode positive.

LES IONS ont une charge électrique POSITIVE. Ils sont repoussés par l'électrode POSITIVE et attirés par l'électrode NÉGATIVE.

LES ÉLECTRONS ont une charge électrique NÉGATIVE. Ils sont repoussés par l'électrode NÉGATIVE et attirés par l'électrode POSITIVE.

Il serait utile de représenter ces déplacements dans le schéma de l'arc électrique. Tu pourrais ainsi mieux visualiser ce qui s'y produit. Examine attentivement la figure 9.

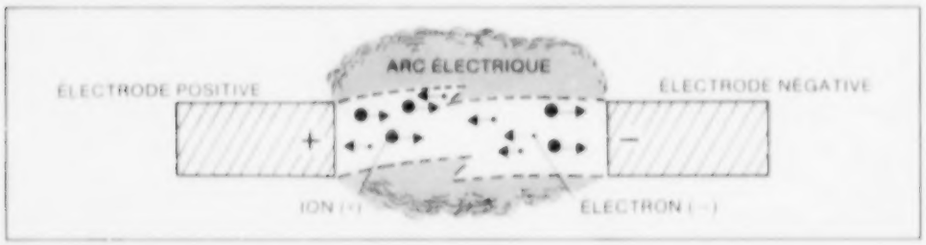


Figure 9 : Mouvement des particules entre les deux électrodes.

Un jeu imaginaire

Ce que tu viens d'apprendre peut sembler incroyable à première vue. Cependant, dis-toi que les différentes particules déjà présentées sont réellement en place dans le petit espace qu'est l'arc électrique. Ces particules sont en mouvement entre l'électrode de métal d'apport et la pièce à souder. C'est un monde microscopique où de nombreux phénomènes se produisent.

Dans le but de mieux comprendre ces phénomènes, nous te présentons maintenant un jeu que nous avons inventé. Un rapprochement peut être fait entre ce jeu imaginaire et la réalité de l'arc électrique.

Nous détaillons dans les prochaines pages les règles de ce jeu ainsi que les conséquences finales qui y sont apportées. Parallèlement, nous répétons les explications concernant l'arc électrique.

Présentation du jeu

Ce jeu très spécial s'intitule « LA COURSE AUX PLUMES ». Pour bien le comprendre, il faut que tu t'imagines être un minuscule bonhom-

me. Tu seras ainsi à la bonne grandeur par rapport à notre jeu. Nous comparons les dimensions du terrain de ce jeu aux dimensions de l'arc électrique.

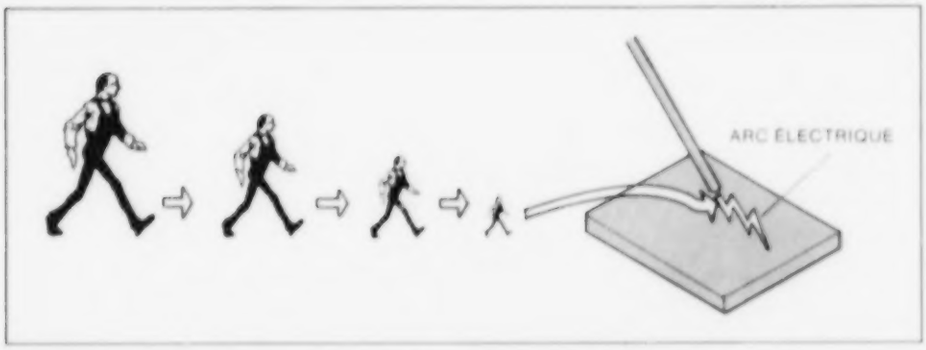


Figure 10 : Randonnée imaginaire dans l'arc électrique.

Nous avons un terrain qui est beaucoup plus long que large. On place une table à chaque extrémité de ce terrain. Sur la table de droite, nous déposons un tas de plumes. La table de gauche est vide.

Voici un schéma du jeu pour que tu en comprennes les différentes règles.

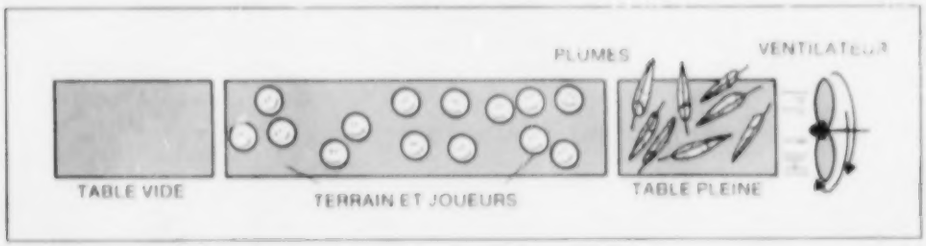


Figure 11 : Description physique du jeu (vue de haut).

Règle du jeu

Les règles du jeu sont les mêmes pour chaque joueur. Il doit aller chercher une plume sur la table de droite et revenir la porter sur la table de gauche, puis recommencer le même cheminement et ainsi de suite...

Cependant, au signal de DÉPART, une surprise attend les joueurs. On met en marche un ventilateur puissant à l'extrême droite du jeu créant ainsi un fort vent de droite à gauche. Selon toi, que se passera-t-il ? Que feront les joueurs ? Qu'arrivera-t-il aux plumes ? Essaie de deviner.

Conséquences sur les joueurs

Si tu es convaincu que les joueurs auront de la difficulté à se rendre à leur destination, tu as raison de penser ainsi. En effet, certains joueurs avancent

vers la droite chercher une plume alors que d'autres vont vers la gauche déposer une plume. Le terrain étant long et étroit, ils se bousculent les uns les autres. Par conséquent, ils ont beaucoup de difficulté à avancer en ligne droite.

Conséquences sur les plumes

Une autre chose que tu as dû remarquer est la position du ventilateur. Il est situé **derrière** la table remplie de plumes. Tu t'es sûrement dit : « Toutes les plumes vont être entraînées par le vent ». Cela est vrai ! En effet, les plumes s'envoleront d'elles-mêmes et se dirigeront (dans le sens du courant d'air) vers la table de gauche. Comme elles sont petites et très légères, ces plumes se faufileront parmi les joueurs et se rendront sans difficulté à la table en question.

Enfin, tu as dû conclure que très peu de joueurs réussiront à rapporter dans leurs mains une plume sur la table de gauche.

En résumé, le but du jeu est atteint mais de façon surprenante. Les plumes parviennent effectivement à la table de gauche mais cela sans l'aide des joueurs. En réalité, ces derniers ne font guère plus que se bousculer les uns les autres.

Rapprochement avec l'arc électrique

Tu connais maintenant le déroulement prévisible du jeu ainsi que le résultat final qu'il entraîne. Il serait donc temps de faire le rapprochement avec l'arc électrique.

Nous allons dessiner à nouveau le schéma de notre jeu imaginaire ainsi que le schéma de l'arc électrique. Compare bien ces deux schémas et lis attentivement les comparaisons citées.

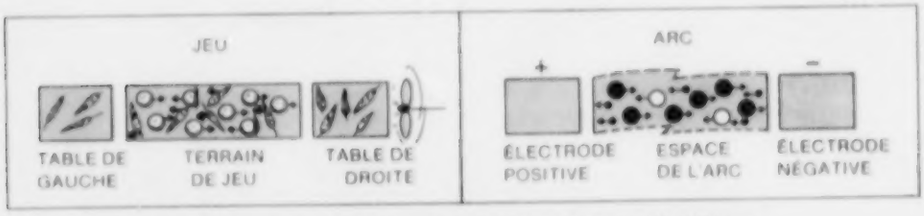


Figure 12 : Comparaison entre le jeu imaginaire et l'arc électrique.

Nous comparons les joueurs qui pratiquent le jeu sur le terrain aux particules lourdes qui voyagent dans l'arc, soit les atomes et les ions. Les plumes sont ensuite comparées aux particules légères qui voyagent dans l'arc, soit les électrons.

JOUEURS ⟶ ATOMES OU IONS
PLUMES ⟶ ÉLECTRONS

Comparaison entre les éléments lourds

Le joueur sans plume doit se diriger vers la droite. C'est la règle du jeu : aller chercher une plume sur la table de droite.

Cependant, très peu de ces joueurs se rendent à droite. Il ne faut pas oublier qu'ils ont très peu de place pour passer (le terrain étant beaucoup plus long que large). Ils se bousculent les uns les autres et n'avancent que très lentement.

Pareillement dans l'arc, l'ion doit se diriger vers la droite. En effet, un ion a une charge positive. Il est donc attiré par l'électrode négative située à droite.

Pareillement dans l'arc, très peu d'ions se rendent à droite. Une très grande activité règne de façon à rendre plus difficile le mouvement des particules plus grosses ou plus lourdes. Nous parlons ici des atomes et des ions. Leur progression est donc pénible et ils ont tendance à s'entrechoquer.

Comparaison entre les éléments légers

Les plumes se dirigent vers la gauche. Elles sont entraînées par la force du vent créée par le ventilateur.

Une grande quantité de plumes peut se rendre à gauche. Étant plus petites et plus légères que les joueurs, elles se faufilent aisément parmi ceux-ci.

Pareillement dans l'arc, les électrons se dirigent vers la gauche. Ceux-ci ont charge électrique négative. Ils se dirigent donc vers l'électrode positive située à gauche.

Pareillement dans l'arc, une grande quantité d'électrons peut se rendre à gauche. Étant plus petits et plus légers que les ions et les atomes, ils se faufilent aisément parmi ceux-ci.

Toute la comparaison se résume à ce qui suit.

ÉLEMENTS EN PLACE DANS LE JEU	*ÉLÉMENTS EN PLACE DANS L'ARC*
Nous avons des joueurs sans plumes, des plumes et des joueurs avec plumes.	Nous avons des ions, des électrons et des atomes.

Figure 13 : Éléments en place dans le jeu et dans l'arc.

RÉSULTAT FINAL DANS LE JEU	*RÉSULTAT FINAL DANS L'ARC*
TRÈS PEU DE JOUEURS SANS PLUMES SE RENDENT À DROITE.	TRÈS PEU D'IONS SE RENDENT À DROITE.
BEAUCOUP DE PLUMES SE RENDENT À GAUCHE.	BEAUCOUP D'ÉLECTRONS SE RENDENT À GAUCHE.

Tu te poses peut-être la question « pourquoi ne parle-t-on pas des joueurs qui ont réussi à apporter une plume sur la table de gauche ? » Il est évident que très peu de joueurs réussiront cet exploit. Les conditions assez spéciales du jeu rendent très ardue la récupération d'une plume par un joueur. De même dans l'arc électrique, certains ions réussissent à récupérer un électron pour redevenir des atomes. Ils sont cependant très peu nombreux. N'insistons donc pas plus sur le sujet.

Ce qu'il est essentiel de retenir touche le nombre **d'ions** ou **d'électrons** arrivant aux électrodes. C'est ce phénomène qui permet de répondre à la question : « POURQUOI Y A-T-IL PLUS DE CHALEUR À LA BORNE POSITIVE QU'À LA BORNE NÉGATIVE ? »

La distribution de chaleur

Tu sais déjà qu'il y a une grande activité entre les deux électrodes. Nous t'avons parlé des nombreuses collisions entre ions et atomes. Cela est dû à leur grosseur, à leur poids et au courant en sens inverse de leur marche.

Tout ce remue-ménage crée de la chaleur. C'est comme si on imaginait dans notre jeu une augmentation de la quantité de chaleur sur le terrain. Elle pourrait être provoquée par les collisions entre joueurs et les efforts de ceux-ci pour avancer en ligne droite.

Enfin, tu as vu que **beaucoup d'électrons se rendaient à gauche**. Mais dans leur route, ils captent un peu de cette chaleur présente au centre de l'arc. Ainsi, chacun des électrons apporte avec lui une petite quantité de chaleur à l'extrémité gauche, c'est-à-dire à l'**électrode positive**.

Tu as également constaté que **très peu d'ions se rendaient à droite**. Eux aussi captent de la chaleur en cours de route. Comme ils se rendent peu nombreux, ils apportent moins de chaleur à l'**électrode négative**.

TOUTES LES PARTICULES PRÉSENTES DANS L'ARC ÉLECTRIQUE CAPTENT DE LA CHALEUR EN COURS DE ROUTE VERS LES ÉLECTRODES POSITIVE ET NÉGATIVE.

COMME IL Y A PEU D'IONS QUI APPORTENT DE LA CHALEUR À DROITE, IL Y AURA ENVIRON *LE TIERS* DE LA CHALEUR *À L'ÉLECTRODE NÉGATIVE*.

COMME IL Y A BEAUCOUP D'ÉLECTRONS QUI APPORTENT DE LA CHALEUR À GAUCHE, IL Y AURA ENVIRON *LE DEUX TIERS* DE LA CHALEUR À *L'ÉLECTRODE POSITIVE*.

Voilà donc la solution de cette fameuse énigme de la distribution de chaleur inégale. **L'électrode positive est toujours plus chaude lors du soudage à l'arc en courant continu**. Cette particularité offre différents avantages. Pour n'en nommer qu'un, l'électrode de métal d'apport « branchée » à la borne positive permet une soudure plus localisée. La pointe de l'arc se voit attribuer les deux tiers de la chaleur comparativement à la pièce à souder qui reçoit le tiers de la chaleur. Ainsi, la chaleur ne se diffuse pas trop rapidement et la fusion demeure plus localisée. C'est le point de soudure qui provoque cette fusion graduelle.

Voilà qui termine ce module sur l'arc électrique en courant continu. Un autre module se chargera de détailler l'arc en courant alternatif. Tu sais que l'inégalité dans la distribution de chaleur ne se retrouve pas dans ce cas. Nous t'expliquerons alors le pourquoi. Comme plusieurs notions ont été vues dans ce module, récapitulons le tout à l'aide d'un petit questionnaire.

- *Quelles sont les trois particules présentes dans l'arc électrique ?*
- *Quelle est la charge électrique de chacune de ces particules ?*
- *Quelle règle concerne la répulsion ou l'attirance des charges?*
- *Les ions sont attirés par l'électrode* [redacted] *tandis que les électrons se dirigent vers l'électrode* [redacted].
- *Pourquoi l'électrode positive obtient-elle les deux tiers de la chaleur ?*

SAVAIS-TU QUE...

DE FAÇON GÉNÉRALE, LES AVANTAGES DU COURANT CONTINU EN SOUDAGE SONT LES SUIVANTS : UN TRÈS GRAND CHOIX D'ÉLECTRODES ET D'INTENSITÉ DE SOUDAGE, ET UN ARC TRÈS STABLE. ON LE RENCONTRE SURTOUT DANS LE SOUDAGE DES ACIERS INOXYDABLES, DES TÔLES, DES CANALISATIONS, DANS LE RECHARGEMENT, ET QUAND ON SOUDE DANS UNE POSITION DIFFICILE.

MODULE D'ACQUISITION 3

L'ARC EN COURANT ALTERNATIF

La différence arc en CC — arc en CA

Le module précédent t'a permis de visualiser l'arc électrique en courant continu. Tu as pu comprendre pourquoi la distribution de chaleur est inégale dans un tel arc. **Les deux tiers de la chaleur sont présents à l'électrode positive**. Cependant, tu sais par ton expérience à l'atelier que ce phénomène ne se produit pas lors d'une opération de soudage en courant alternatif. Pourquoi en est-il ainsi? Le but du module est de répondre à cette question.

Une alternance de polarité

Tu connais la différence entre le courant continu et le courant alternatif. Le cahier 1 t'a aidé à acquérir cette connaissance. Si tu le veux, tu peux relire les modules d'acquisition 2 et 3 de ce cahier.

La chose la plus importante à te rappeler concernant le courant alternatif est **l'alternance des polarités** qui se manifeste de façon très rapide à chacune des bornes. En d'autres mots, les deux électrodes disposées de chaque côté de l'arc électrique n'ont pas une polarité constante. Que ce soit l'électrode de métal d'apport ou la pièce à souder, les polarités passent de positif à négatif puis reviennent à positif, tout cela très rapidement.

Comment pourrait-on schématiser l'arc en courant alternatif? Rappelle-toi tout d'abord le schéma de l'arc en courant continu (figure 9). L'électrode positive était située à gauche du schéma et le tout demeurait ainsi, car les polarités sont constantes en courant continu. Ce n'est pas le cas en courant alternatif. Il faudrait donc préciser ce dernier point dans le schéma.

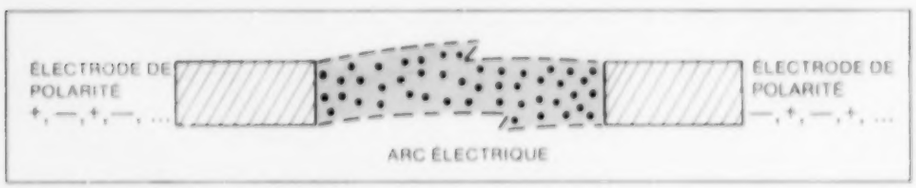


Figure 14 : Électrodes de l'arc en CA.

Ainsi chaque électrode obtient tour à tour les deux polarités. Qu'est-ce que tout cela entraîne comme conséquences sur le comportement des particules de plasma?

Le déplacement des particules dans l'air

Pour répondre à la question précédente, il faut d'abord te rappeler de quelle façon les particules se déplacent dans le plasma.

UN COURANT D'ÉLECTRONS CIRCULE DE L'ÉLECTRODE NÉGATIVE À L'ÉLECTRODE POSITIVE.

UN COURANT D'IONS CIRCULE DE L'ÉLECTRODE POSITIVE À L'ÉLECTRODE NÉGATIVE.

Cependant ces particules ne voyagent pas toutes avec la même facilité. Un jeu imaginaire t'a déjà permis de comprendre cela dans le module sur l'arc en courant continu. La situation peut être résumée dans les encadrés qui suivent.

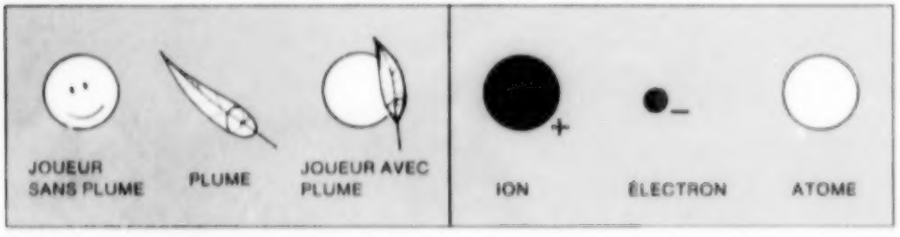


Figure 15 : Comparaison entre les éléments du jeu imaginaire et ceux de l'arc électrique.

SITUATION DANS LE JEU	*SITUATION DANS L'ARC*
Le terrain est beaucoup plus long que large.	L'arc électrique est beaucoup plus long que large.
Les joueurs sont les éléments lourds en circulation.	Les ions sont les éléments lourds en circulation.
Les plumes sont les éléments légers en circulation.	Les électrons sont les éléments légers en circulation.

MOUVEMENT DANS LE JEU	*MOUVEMENT DANS L'ARC*
Les joueurs circulent avec difficulté de la table vide à la table pleine.	Les ions circulent avec difficulté de l'électrode positive à l'électrode négative.
Les plumes se dirigent avec facilité de la table pleine à la table vide.	Les électrons se dirigent avec facilité de l'électrode négative à l'électrode positive.

Tout cela peut t'aider à mieux comprendre pourquoi une plus grande quantité de chaleur a tendance à s'accumuler sur l'électrode positive.

LES PARTICULES PRÉSENTES DANS L'ARC ÉLECTRIQUE CAPTENT DE LA CHALEUR AU COURS DE LEUR RANDONNÉE VERS LES ÉLECTRODES POSITIVE ET NÉGATIVE.

COMME LES ÉLECTRONS SE RENDANT À L'ÉLECTRODE POSITIVE SONT PLUS NOMBREUX QUE LES IONS SE RENDANT À L'ÉLECTRODE NÉGATIVE, IL Y A PLUS DE CHALEUR QUI TEND À S'ACCUMULER À L'ÉLECTRODE POSITIVE.

Ce déplacement de particules et de chaleur se produit réellement dans un arc en courant continu ou en courant alternatif. **Cependant, la distribution finale de la chaleur n'est pas la même en courant alternatif**. Tu sais déjà que l'arc en courant alternatif présente des électrodes qui changent de polarité très rapidement (d'après la figure 14). Pour comprendre, examine, en deux étapes, le mouvement des particules du plasma. Dans un premier temps, étudie le phénomène lorsque l'électrode située à gauche du schéma est positive. Puis regarde le tout lorsque cette même électrode devient négative (alternance du courant). Tu pourras par la suite déterminer le résultat final entraîné dans un tel genre d'arc.

Première étape du courant alternatif

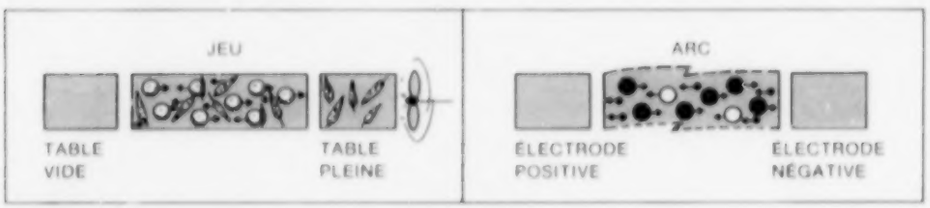


Figure 16 : Comparaison jeu-arc (1re étape).

Nous t'avons déjà expliqué pourquoi une plus grande quantité de chaleur est attirée par l'électrode positive. C'est que les particules légères ont plus de facilité à se rendre à cette électrode.

Beaucoup de plumes peuvent se rendre à la table de gauche.	Beaucoup d'électrons peuvent se rendre à l'électrode positive.

Cependant, ce cheminement est vite interrompu, car le courant alternatif change son sens de circulation. Les polarités sont alors alternées. L'électrode située à gauche devient négative et celle de droite devient positive.

Deuxième étape du courant alternatif

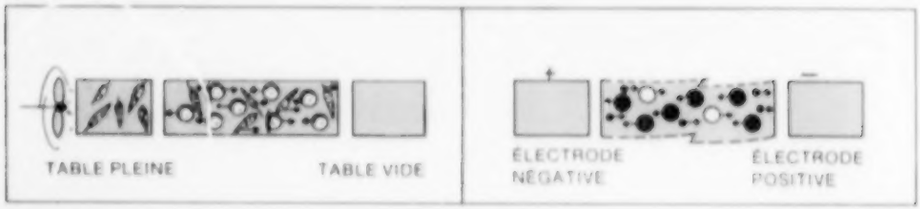


Figure 17 : Comparaison jeu-arc (2e étape).

Voilà que nous avons un phénomène complétement différent puisque le jeu est inversé. Les particules se déplacent dans le sens contraire de la première étape.

Beaucoup de plumes peuvent se rendre à la table de droite.	Beaucoup d'électrons peuvent se rendre à l'électrode positive.

Une alternance très rapide

Nous t'avons déjà expliqué ce qu'est la fréquence d'un courant alternatif (cahier 1 — module de prolongement 1). Tu sais que ce courant change de sens de façon très rapide. En réalité, le courant habituellement utilisé change de polarité 120 fois par seconde. Autrement dit, l'électrode positive devient négative puis redevient positive 60 fois par seconde.

Nous venons de t'expliquer ce qui se produit à chacune de ces étapes. Pendant 1/120 de seconde, une électrode a tendance à recevoir plus de chaleur que l'autre. **C'est l'électrode positive**. Mais voilà qu'au deuxième cent vingtième de seconde, l'électrode positive devient négative. C'est alors l'autre électrode qui a tendance à recevoir plus de chaleur (toujours la positive).

En résumé, chacune des deux électrodes a tendance à recevoir plus de chaleur tour à tour. Cependant, l'alternance des polarités provoque un changement continuel dans le mouvement des quantités de chaleur. Quelle est la conséquence finale selon toi ?

Si tu crois que l'alternance excessivement rapide des polarités ne permet pas à une électrode de chauffer plus que l'autre, tu as raison de penser ainsi. Une électrode n'a tout simplement pas le temps de capter plus de chaleur que l'autre. La quantité de chaleur s'équilibre des deux côtés.

EN COURANT ALTERNATIF, LES DEUX ÉLECTRODES CHAUFFENT ÉGALEMENT, C'EST-À-DIRE QU'ELLES OBTIENNENT CHACUNE 50 % DE LA CHALEUR.

Comme la chaleur ne s'accumule pas de façon plus importante au niveau de l'électrode de métal d'apport ou de la pièce, les conditions de sou-

dage sont différentes de celles existant en courant continu. Ton expérience comme soudeur t'apprendra les avantages d'avoir une distribution de chaleur égale ou inégale.

Avant de terminer, vérifie si tu connais les mots qui remplissent les espaces vides dans les énoncés suivants. Cela pourra t'aider à consolider les connaissances acquises.

- *Lorsque tu utilises le courant* [redacted]*, tu as une distribution de chaleur inégale; soit* [redacted] *à l'électrode* [redacted] *et* [redacted] *à l'électrode* [redacted].

- *Lorsque tu utilises le courant* [redacted]*, tu as une distribution de chaleur égale; soit* [redacted] *à l'électrode* [redacted] *et à l'électrode* [redacted].

SAVAIS-TU QUE...

DE FAÇON GÉNÉRALE, LA SOUDURE EST PLUS NETTE ET LA CONSOMMATION EN COURANT ÉLECTRIQUE EST PLUS FAIBLE LORSQUE LE COURANT ALTERNATIF EST UTILISÉ. C'EST LE PROCÉDÉ IDÉAL POUR SOUDER EN CORNICHE DES TÔLES ÉPAISSES.

MODULE DE PROLONGEMENT

L'ARC ÉLECTRIQUE : LA RÉSISTANCE VARIABLE DES SOUDEURS

L'arc : une résistance ?

Un arc électrique peut être surnommé une **résistance électrique**. Sais-tu pourquoi ? Essaie de te remémorer le cahier 2. En réalité, tout appareil disposé dans un circuit électrique se comporte **comme une résistance**. Le module d'acquisition 2 de ce même cahier explique en détail pourquoi cela est vrai. Tu peux retourner à ce module si tu le désires.

En quelques mots, un appareil électrique oppose une résistance au courant lors de son passage. Cela permet à cet appareil de prendre l'énergie dont il a besoin pour accomplir son travail. Par la suite, le courant se dirige à nouveau vers la source où il fait le plein d'énergie. Tout ceci explique pourquoi il existe une **différence de tension** (ou différence de potentiel) entre les deux bornes disposées de chaque côté de l'appareil.

Pense à l'arc électrique. Celui-ci reçoit un courant possédant une **certaine tension**. Il prend l'énergie nécessaire pour fournir une grande quantité de chaleur à la pièce et à l'électrode. Ceci provoque la fusion indispensable à l'exécution de la soudure. Puis, le courant poursuit sa route vers la source avec une **tension faible**. La source lui donne alors un nouvel élan. Et la même opération recommence !

Comprends-tu mieux maintenant pourquoi nous appelons l'arc une résistance électrique ? Est-ce que tu serais d'accord avec nous si nous ajoutions le mot « variable ». Nous appellerions l'arc **une résistance électrique variable**. Ce n'est plus aussi évident dans ton esprit, n'est-ce pas ? Pour éclairer ta pensée, reviens à la comparaison souvent utilisée, soit celle entre un circuit électrique et une conduite d'eau.

Une résistance dans une conduite d'eau

Imagine un courant d'eau circulant dans une tuyauterie. Le courant d'eau rencontre alors un obstacle. Cet obstacle est plus précisément une diminution de section de la tuyauterie.

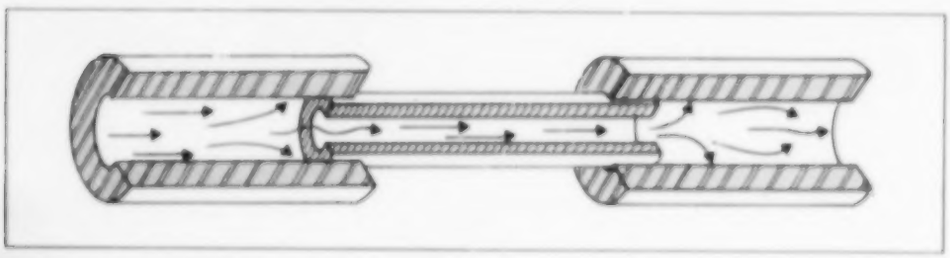


Figure 18 : Obstacle dans un circuit d'eau.

En fait, l'eau rencontre une résistance. Son passage (sa circulation) est plus difficile. La quantité d'eau ne peut être aussi grande dans la plus petite section. À la sortie de l'obstacle, le courant possède moins de force. Il a dépensé une partie de son énergie en traversant l'obstacle.

Tu sais que le courant électrique se comporte de la même façon lorsqu'il traverse l'arc. Cependant, as-tu déjà remarqué ce qui se produit lorsque tu éloignes légèrement l'électrode de la pièce à souder. Les conditions de soudage varient. C'est comme si tu augmentais la résistance de l'arc, car le courant a plus de difficulté à circuler. L'intensité de courant en présence subit une diminution.

La variation de la résistance

Ainsi, lorsque tu soudes, tu as en main une résistance variable. **Dès que tu modifies la longueur de l'arc, tu changes la valeur de la résistance**. Pour bien visualiser ce phénomène, examinons ensemble une résistance variable dans une conduite d'eau. Dans la figure 19, nous remplaçons la diminution de section fixe par une diminution de section variable. Nous utilisons une vanne qui peut être ouverte ou fermée à volonté.

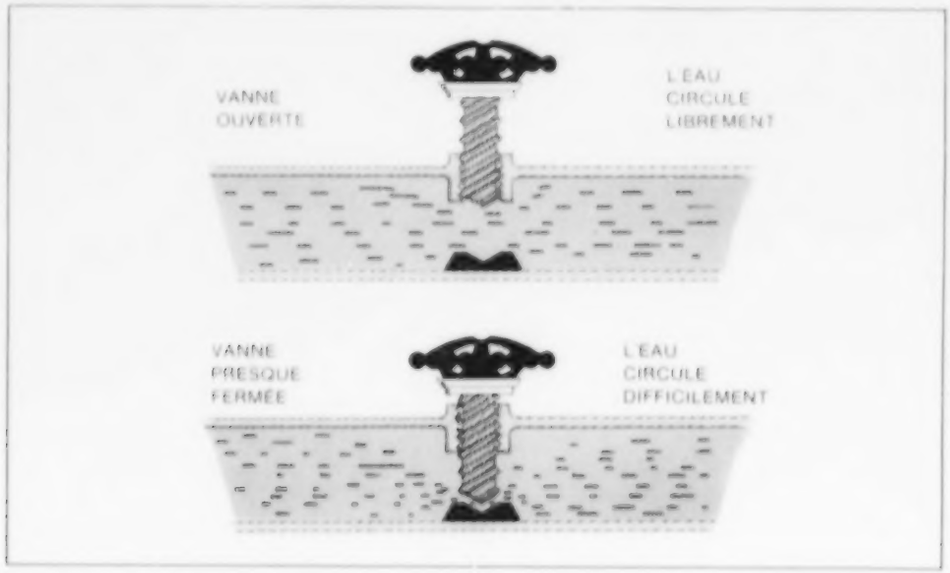


Figure 19 : Résistance variable dans une conduite d'eau.

Tu remarques dans ce schéma que plus la valve se ferme, plus la circulation de l'eau est difficile: la résistance au cheminement de l'eau est augmentée. La situation est facilement comparable à celle qui se présente dans une opération de soudage.

Dans un premier temps, si tu soudes avec une électrode très près de la pièce, une résistance entre en jeu au niveau de l'arc. L'énergie dépensée sert à fournir la chaleur nécessaire à la fusion. Dans un deuxième temps, si tu éloignes légèrement l'électrode, la longueur d'arc est augmentée. Il en est de même pour la résistance existant au niveau de l'arc. Le courant a plus de difficulté à

passer à travers cet arc. La situation est représentée dans notre comparaison avec la conduite d'eau. Plus la vanne se ferme, plus la circulation de l'eau est difficile.

Maintenant que se produit-il lorsque tu éloignes trop l'électrode de la pièce ? En fait, tu expérimentes cela à chaque fois que tu termines une soudure. Lorsque la longueur d'arc devient trop élevée, l'arc électrique s'éteint. C'est que la résistance augmente à un tel point que la circulation ne peut plus s'effectuer. Cette situation se retrouve également dans notre conduite d'eau. La vanne complètement fermée empêche la circulation de l'eau dans le circuit.

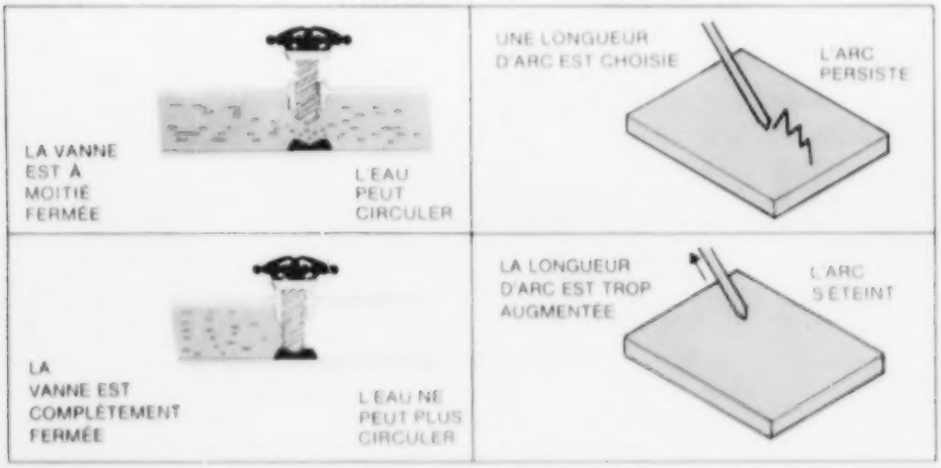


Figure 20 : Comparaison de la résistance dans une conduite d'eau avec la résistance dans l'arc électrique.

Ce module peut donc se résumer dans une seule affirmation.

L'arc électrique se comporte comme une résistance électrique variable.

Nous espérons que les schémas présentés dans cette comparaison t'ont aidé à mieux visualiser cet énoncé. Pour récapituler le tout, essaie de répondre au petit questionnaire suivant.

- *Quelle caractéristique du courant est différente au niveau des deux bornes de tout appareil électrique ?*
- *Dis-nous, en tes propres mots, pourquoi on peut surnommer l'arc électrique une résistance variable ?*

La prochaine fois que tu exécuteras une soudure, amuse-toi à vérifier ce qui se produit lorsque tu modifies la longueur de l'arc. Tu remarqueras la conséquence engendrée sur la fusion de ta pièce.

FICHE DE SYNTHÈSE

Arc électrique

L'arc électrique peut être considéré comme un petit éclair lumineux permanent créé entre deux électrodes parcourues par un courant électrique et dégageant une chaleur intense.

Plasma

Un plasma est formé par le gaz existant entre les deux électrodes au niveau de l'arc. La grande quantité de chaleur en présence pousse ce gaz à réagir. C'est le phénomène d'ionisation qui entre en jeu. Les atomes deviennent des ions après avoir libéré des électrons.

Mouvement des particules

Une particule de charge électrique donnée est attirée par une électrode de signe opposé. Les ions, ayant une charge électrique positive, seront attirés par l'électrode négative. Les électrons, ayant une charge électrique négative, se dirigeront vers l'électrode positive.

De plus, les ions et les électrons présentent également des différences concernant leur poids et leur grosseur. Les ions sont gros et lourds tandis que les électrons sont petits et légers. Ces derniers auront donc beaucoup plus de facilité à se déplacer dans le plasma.

L'arc en courant continu

Les différentes particules en mouvement dans le plasma captent au passage des petites quantités de chaleur qui sont transportées vers les électrodes. Comme il y a beaucoup plus d'électrons qui se rendent à l'électrode positive que d'ions se rendant à l'électrode négative, la chaleur distribuée à ces électrodes est inégale.

EN COURANT CONTINU
L'électrode positive obtient environ les deux tiers (2/3) de la chaleur. L'électrode négative obtient le tiers (1/3) de la chaleur.

L'arc en courant alternatif

Tu connais l'alternance des polarités qui se produit en courant alternatif. En quelques mots, chacune des deux bornes de l'arc obtient tour à tour les deux polarités électriques (positive et négative). C'est pourquoi il n'est pas question ici de choisir une polarité de soudage. Comme l'alternance de ces

polarités se produit de façon très rapide, la chaleur n'a pas le temps de s'accumuler à une borne plus qu'à une autre.

EN COURANT ALTERNATIF
Chacune des deux électrodes obtient la moitié (1/2) de la chaleur.

La « résistance variable des soudeurs » : l'arc électrique

Le courant électrique subit une forme de résistance lorsqu'il oeuvre au niveau de l'arc. La modification de la longueur d'arc dans une opération de soudage entraîne une variation de cette résistance. Ainsi, l'arc électrique peut être surnommé la « résistance variable des soudeurs ».

SAVAIS-TU QUE...

L'EXTRÉMITÉ DE CERTAINES ÉLECTRODES EST EN FORME DE CRATÈRE CE QUI FAIT QU'ON PEUT TRAÎNER L'ÉLECTRODE SUR LA PIÈCE SANS DANGER ET AINSI AVOIR UNE LONGUEUR D'ARC CONSTANTE. SEUL L'ENROBAGE EST EN CONTACT AVEC LA PIÈCE, L'ÂME DEMEURANT À UNE DISTANCE APPELÉE « E »

LES VAPEURS PROVENANT DE L'ENROBAGE DE L'ÉLECTRODE EN SOUDAGE À L'ARC PROTÈGENT LE BAIN DE FUSION DES EFFETS NÉFASTES DE L'ATMOSPHÈRE. DE PLUS, L'ENROBAGE ÉTANT UN ISOLANT, IL ÉVITE, DANS LE SOUDAGE DE CHAMFREIN PROFOND, LES AMORÇAGES D'ARCS LATÉRAUX.

FICHE D'ÉVALUATION

1. Un plasma est un gaz ionisé. Cela signifie que...
   a) les atomes se frappent les uns les autres.
   b) les électrons du courant électrique se frappent les uns les autres.
   c) les atomes libèrent un électron.

2. Dans un arc électrique, de quelle façon les électrons voyagent-ils ?
   a) De l'électrode positive vers l'électrode négative.
   b) De l'électrode négative vers l'électrode positive.
   c) D'un atome à l'atome suivant.

3. Dans un arc électrique, de quelle façon les atomes ionisés voyagent-ils ?
   a) De l'électrode positive vers l'électrode négative.
   b) De l'électrode négative vers l'électrode positive.
   c) Vers l'extérieur de l'arc, car il se repoussent mutuellement.

4. Nomme les particules présentes dans un arc électrique.
   a) Des électrons seulement.
   b) Des électrons et des ions.
   c) Des électrons, des ions et des atomes.

5. Qu'est-ce qui force les charges électriques à circuler dans l'arc ?
   a) La tension entre les électrodes.
   b) La chaleur à l'intérieur de l'arc.
   c) L'attraction entre les ions et les électrons.

6. Les électrodes de l'arc électrique s'échauffent surtout parce que...
   a) le courant électrique circule dans les électrodes.
   b) la lumière émise par l'arc tombe en partie sur les électrodes comme les rayons du soleil.
   c) les électrons et les ions apportent de l'énergie aux électrodes.

7. L'électrode positive s'échauffe plus que l'électrode négative parce que...
   a) le courant électrique sort de l'électrode positive pour aller à l'électrode négative.
   b) les électrons apportent à l'électrode positive plus d'énergie que les ions en apportent à l'électrode négative.
   c) les atomes de l'air enlèvent de l'énergie à l'électrode négative.

8. Les électrodes de l'arc en courant alternatif s'échauffent également parce que...
   a) les charges électriques dans l'arc n'ont pas le temps d'atteindre les électrodes.
   b) les électrons ne savent pas où aller et seuls les atomes peuvent voyager.
   c) les charges électriques dans l'arc déposent de l'énergie également sur les électrodes.

9. Pourquoi l'arc électrique présente-t-il une valeur de résistance variable?
   a) Parce que les matériaux à souder sont de mauvaise qualité et nécessitent des ajustements.
   b) Parce que la distance entre l'électrode et la pièce varie quelque peu durant le soudage.
   c) Parce que l'air environnant amène des éléments étrangers variables qui influencent la valeur du courant.

10. Pourquoi y a-t-il une différence de tension de chaque côté de l'arc électrique?
    a) Parce que la chaleur n'est pas répartie également.
    b) Parce que l'arc transforme une partie de l'énergie électrique en chaleur.
    c) Parce que les particules du plasma s'installent davantage sur une borne que sur une autre.

MODULE DE COMPLÉMENT

Un comportement stable ou non ?

En général, les appareils électriques nécessitent une intensité de courant constante de façon à fonctionner adéquatement. En d'autres mots, le courant électrique alimentant un appareil demeure toujours le même. C'est le cas par exemple d'une ampoule électrique. Cette ampoule procure constamment la même luminosité, à moins qu'une fluctuation du réseau n'intervienne.

Ce comportement ne s'applique pas à l'arc électrique. Diverses causes produisent des changements internes de l'arc. Tu connais déjà une de ces causes. Elle t'a été présentée au module de prolongement. La variation de la longueur de l'arc produite par le soudeur provoque un changement de la résistance de l'arc. Il s'ensuit un effet bien évident. Le courant électrique fluctue, car ce courant dépend de la résistance de l'arc. La variation de la température de l'arc est une autre cause à l'origine des modifications internes de l'arc.

Enfin, on peut identifier une cause externe qui induit un changement de résistance de l'arc. Il arrive parfois que des grains de matière se détachent de l'électrode, traversent l'arc et tombent sur la pièce. Cette matière nouvelle modifie temporairement la composition de l'arc, car des atomes autres que ceux de l'air s'y introduisent. Cette modification de la composition interne de l'arc entraîne à son tour une variation de la résistance.

Toutes les raisons évoquées jusqu'à maintenant nous poussent à croire que le comportement de l'arc électrique est très variable, très instable. De grandes fluctuations de courant devraient être provoquées par les conditions plus ou moins constantes dans l'environnement de l'arc. On devrait même s'attendre à des interruptions brusques de l'arc sans aucun préavis. Cependant, ce n'est pas ce que tu observes en tant que soudeur. En réalité, les fluctuations de courant sont faibles et l'arc ne cesse de fonctionner que si tu le désires.

Afin de visualiser les raisons qui expliquent cette contradiction, nous te proposons la lecture des pages suivantes. Elles portent sur la question « Comment se peut-il que l'arc électrique soit **stable** alors que diverses causes devraient le rendre **instable** ? » Tu es aussi en droit de te poser d'autres questions telles « Quelle est l'origine de cette stabilité ? » et « Est-ce que tous les postes de soudage présentent le même degré de stabilité ? » Les réponses à ces questions pourront te permettre de mieux comprendre le choix des conditions d'opération d'une source de courant.

Graphe V-I d'un appareil électrique

Les propriétés de l'arc électrique s'avèrent plutôt complexes à définir par suite des modifications internes qu'il subit constamment. La longueur de l'arc et sa composition changent, contrairement à un appareil telle une chaufferette électrique ou une ampoule. Ces appareils possèdent une résistance fixe. Ils sont donc faciles à caractériser. Voyons comment se présente le problème dans un cas simple, celui d'un appareil montrant une résistance constante R.

Tu as appris dans le cahier 2 des notions de base à ce sujet. La loi d'Ohm établit un lien entre la tension V aux bornes d'une résistance et le courant I qui y circule. La formulation de cette loi est simple.

LOI D'OHM: V =RI

Pour connaître la tension V, il suffit de mesurer le courant I. Le produit de la résistance R de l'appareil et du courant I donne la tension V. La connaissance de la résistance R suffit donc à caractériser l'appareil comme tel. Tu peux cependant aller plus loin dans cette étude en construisant un graphe. En prenant comme exemple un appareil possédant une résistance de 5 ohms, nous calculons les valeurs de V pour différentes valeurs de courant.

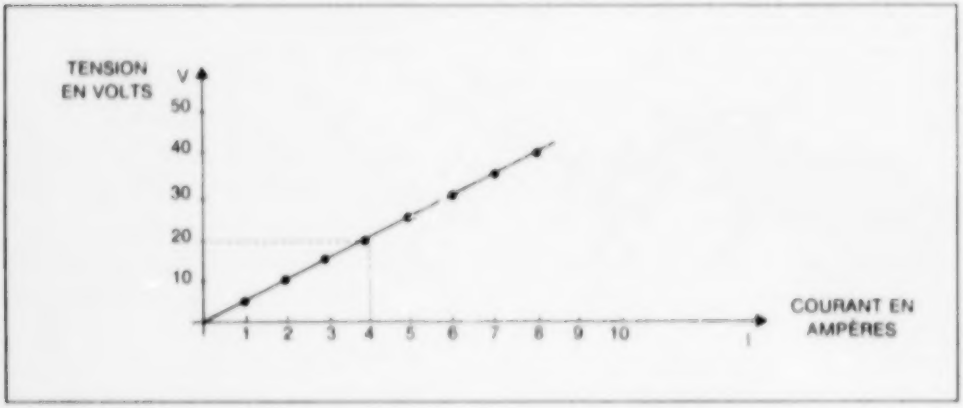


Figure 21 : Graphe V-I d'un appareil.

L'axe horizontal indique la valeur de l'intensité du courant et l'axe vertical montre les valeurs correspondantes de la tension. Par exemple, l'intensité de courant de 4 ampères correspond à une tension de ($V = R \times I = 5 \times 4$) 20 volts pour cet appareil. D'autres valeurs d'intensité de courant permettront le calcul de plusieurs points qu'on pourra relier par une ligne droite. Cette ligne représente le **graphe V-I de l'appareil** ou encore le graphique volts-ampères de l'appareil.

Ce graphe caractérise l'appareil électrique tout comme la valeur de sa résistance. Cependant, on évite habituellement la construction d'un graphe V-I dans un tel cas, car la résistance garde une valeur fixe. En d'autres mots, on se contente de la valeur de la résistance pour caractériser l'appareil. C'est le cas d'une ampoule, d'un élément chauffant, de la résistance d'un transformateur, des résistances d'une radio, etc.

Graphe V-I de l'arc électrique

Tracer le graphe V-I d'un arc électrique n'est pas aussi facile que celui d'un appareil électrique. L'arc ne possède pas une résistance fixe. Son compor-

tement est tellement complexe et variable qu'il ne peut être caractérisé par un chiffre, une valeur de résistance. La loi d'Ohm est alors inapplicable. Cependant, même s'il est plus difficile à tracer, on fait tout de même appel au graphe V-I de l'arc pour caractériser celui-ci.

Des mesures en laboratoire permettent l'enregistrement des valeurs de tension correspondant à diverses valeurs d'intensité. Cela est exécuté avec un arc d'une longueur déterminée et d'une composition définie. On s'aperçoit que la tension aux bornes de l'arc diminue dans un premier temps puis augmente par la suite. Le changement se produit dans une gamme de courants qui devient de plus en plus considérable. Ensuite, on fait la même opération avec une autre longueur d'arc. On obtient alors les deux courbes représentées à la figure 22.

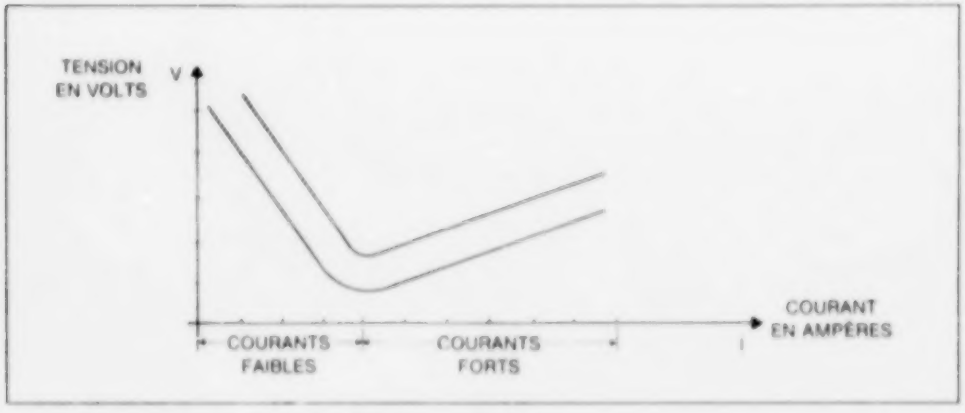


Figure 22 : Graphe V-I d'un arc électrique.

L'allure générale de la courbe s'explique de la façon suivante. Dans un premier temps, la chute de tension pour les faibles courants est provoquée par le plasma de l'arc. Ce plasma devient de plus en plus ionisé à mesure que le courant augmente. Sa conductivité électrique s'accroît rapidement. À un certain point, le niveau d'ionisation devient constant. On atteint le creux du graphe. La réponse de l'arc change. La tension se met à augmenter pour la plage des forts courants. Le comportement ressemble alors à celui d'un appareil. La courbe monte de façon presque directe.

On note enfin qu'il existe un graphe V-I pour chaque longueur d'arc. D'autres courbes que les deux échantillons tracés à la figure 22 pourraient être ajoutées. Il suffit d'imaginer des courbes semblables se disposant de plus en plus haut sur le graphe à mesure que la longueur d'arc augmente.

Système « source de courant — arc électrique »

Les considérations qui viennent d'être faites s'appliquent à un arc électrique. Cependant, dans un poste de soudage, l'arc est relié à la source de courant par des fils électriques. Cette source de courant a des caractéristiques bien spécifiques qui se répercutent sur l'arc. Les conditions d'opération dépendent donc à la fois de la source et de l'arc. Si l'on considère séparément la source de courant, on obtient également des courbes qui caractérisent son comportement. Tu as déjà eu l'occasion d'étudier le graphe V-I d'une source de courant.

Tu peux retourner au module de complément du cahier 3 si cette notion ne t'est pas encore familière. Dans le cas d'une source à courbes plongeantes, on obtenait un graphe V-I comme celui représenté ici à la figure 23.

Figure 23 : Graphe V-I d'une source de courant.

Les quatre courbes représentées ici correspondent à quatre ajustements différents de la tension de la source. Rappelle-toi que cet ajustement peut se réaliser entre autres à l'aide d'un shunt magnétique. Une fois cet ajustement fixé d'après tes besoins de soudeur, la source répond selon une courbe bien déterminée. Que doit-on faire si l'on veut étudier le comportement du système formé par la source et l'arc ? Superposer les courbes et regarder où les croisements se produisent. En effet, le comportement du système « source de courant — arc électrique » s'obtient par la superposition des graphes de l'arc avec un graphe particulier de la source. Voyons ensemble ce que l'on peut déduire de cette opération.

Stabilité d'un arc électrique

Considérons deux graphes V-I d'un arc électrique correspondant à deux longueurs d'arc bien précises. Sur la même figure, ajoutons la courbe V-I de la source de courant pour un ajustement fixe du shunt magnétique.

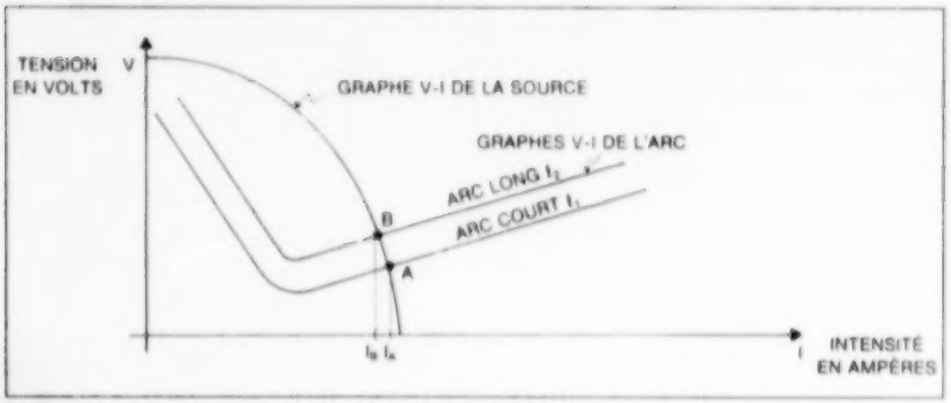


Figure 24 : Graphe V-I combiné de la source et de l'arc.

Tout en observant la figure 24, imagine avec nous la situation suivante. Suppose dans un premier temps que l'arc est court. Le point du graphe qui indiquera les conditions d'opération est appelé par exemple point A. Ce point représente l'intersection du graphe de l'arc avec celui de la source. Tu constates que c'est le courant I_A qui alimente l'arc. Tout à coup, tu modifies la longueur de l'arc. Disons que tu augmentes cette longueur de l_1 à l_2. Les conditions d'opération sont changées. Elles sont représentées par le nouveau courant I_B légèrement plus faible que le précédent. Le changement de la longueur d'arc de l_1 à l_2 s'est donc traduit par une faible diminution de courant.

Que se serait-il produit si la source de courant utilisée avait eu une courbe plongeante différente ? Examine avec nous ce problème en observant la figure 25.

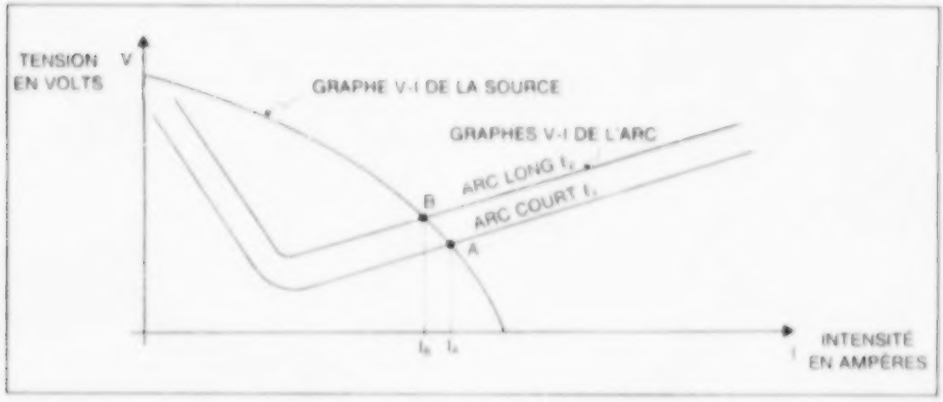


Figure 25 : Graphe V-I combiné de la source no 2 et de l'arc.

Compare la figure 25 à la figure 24. Seule la courbe caractérisant la source a changé. La forme plongeante est beaucoup moins accentuée dans la dernière figure. Que deviennent les points d'opération A et B correspondant aux conditions d'opération pour les longueurs d'arc l_1 et l_2 ? Tu remarques que l'écart entre les valeurs d'intensité I_A et I_B est ici beaucoup plus grand. Par conséquent, tu peux conclure qu'avec cette nouvelle source, les changements d'intensité du courant dans l'arc seront beaucoup plus élevés que pour la source précédente.

Dans la pratique du métier, on désire habituellement travailler de façon à permettre une certaine liberté quant à la longueur d'arc et cela, sans modifier considérablement l'alimentation électrique. On cherche à travailler avec des conditions de courant qui ont été fixées dans les directives et qui ne doivent pas trop varier. En d'autres mots, le soudeur préfère travailler avec un arc électrique qui présente une **stabilité optimale**. Cette condition est d'autant plus satisfaite que le graphe V-I de la source « plonge » le plus vite possible.

Une caractéristique plongeante d'une source de courant favorise une plus grande stabilité de l'arc électrique.

Tu viens d'étudier avec nous la stabilité de l'arc par rapport à sa longueur. Une analyse semblable pourrait être faite en fonction de la composition de l'arc électrique. L'introduction de matière en provenance de l'électrode de métal d'apport modifie le graphe V-I de l'arc. Le tout se produit selon un schéma du même genre que ceux des figures 24 et 25. Encore ici, la stabilité de l'arc se trouve favorisée par une caractéristique plongeante de la source.

SAVAIS-TU QUE...

L'EXISTENCE D'UN ARC DÉPEND DE L'ÉTAT D'IONISATION DES GAZ COMPRIS DANS LE PLASMA. PAR CONSÉQUENT, L'ENROBAGE DES ÉLECTRODES DOIT RENFERMER DES SUBSTANCES IONISANTES QUI FACILITENT L'AMORÇAGE ET LA STABILISATION DE L'ARC. CECI EST PARTICULIÈREMENT VRAI EN COURANT ALTERNATIF OÙ UN MILIEU FORTEMENT IONISÉ EST PRODUIT PAR DES ENROBAGES CONTENANT DES SELS DE SODIUM, DE POTASSIUM, ETC. D'AUTRES PRODUITS SONT ÉGALEMENT FAVORABLES À L'AMORÇAGE ET À L'ENTRETIEN DE L'ARC TELS LES SILICATES ET LES CARBONATES.

FINALEMENT, EN PLUS DU POTENTIEL D'IONISATION, D'AUTRES FACTEURS AGISSENT SUR LA STABILITÉ DE L'ARC. CE SONT LA TENSION D'AMORÇAGE À VIDE ET LA CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE.

MODULE D'EXERCICES

1. Afin de rendre plus concrètes les explications relatives au fonctionnement de l'arc électrique, un groupe d'élèves développe la comparaison suivante. On considère des abeilles en train de cueillir du miel dans un pot situé à une certaine distance de la ruche. Chaque abeille recueille une gouttelette de miel qu'elle transporte dans la ruche pour ensuite recommencer la même opération. L'abeille pleine de miel est comparée à l'atome, l'abeille vide de miel à l'ion et la gouttelette de miel à l'électron. Le pot joue le rôle d'électrode négative, la ruche d'électrode positive et le parcours entre les deux représente l'arc. Finalement, un fort vent souffle du pot vers la ruche.

   Examine à nouveau la comparaison présentée au module d'acquisition 2 (la course aux plumes) et compare-la à celle que nous venons de te présenter. Crois-tu que cette dernière est aussi valable pour expliquer l'arc électrique? Explique ta réponse.

2. Un professeur explique à ses étudiants que certains aspects de l'arc électrique se comparent à un robinet. L'eau arrive par une conduite, sort du robinet pour enfin s'écouler vers l'égout. L'arc est comparé au jet d'eau. L'électrode négative devient le robinet. L'électrode positive est représentée par le trou menant à l'égout. Finalement, l'eau joue le rôle du courant électrique dans le circuit. Es-tu d'accord avec l'idée du professeur concernant cette explication de l'arc électrique? Explique ta réponse.

3. La figure suivante montre les courbes V-I d'une source de courant pour les plages inférieure et supérieure.
   a) Détermine laquelle de ces courbes correspond à la plage inférieure et laquelle à la plage supérieure.
   b) Laquelle des deux plages permet l'arc électrique le plus stable possible?

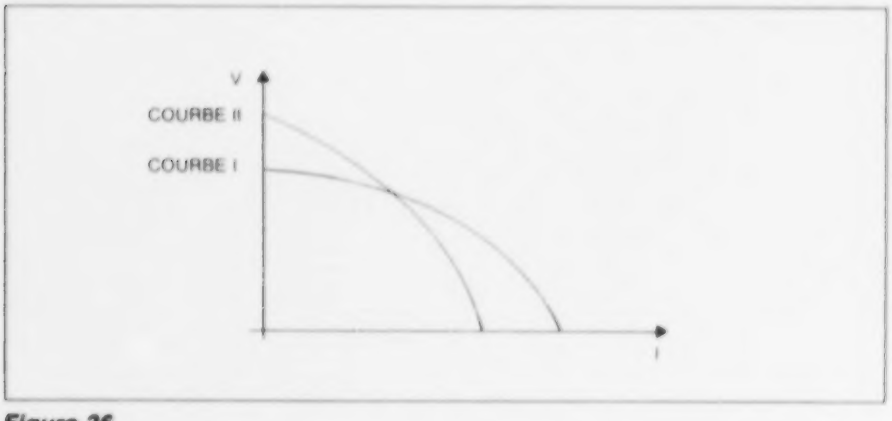


Figure 26

4. Considère un arc électrique d'une longueur fixe opérant dans l'air. Un paquet d'atomes (d'un certain métal) se détache de l'électrode et se fait vaporiser dans l'arc. Étant donné que les atomes d'un métal s'ionisent plus

facilement que les atomes de l'air, qu'arrive-t-il au graphe V-I de l'arc? En d'autres mots, est-ce que ce graphe s'élève ou s'abaisse? Explique ta réponse.

5. En t'inspirant de la figure 24, décris ce qui arrive lorsque la longueur d'arc augmente? Est-ce que la stabilité de l'arc s'améliore ou se détériore pour un arc plus long? Explique ta réponse.

6. L'arc électrique ne présente pas une valeur de résistance fixe parce que...
   a) sa composition change.
   b) sa longueur change.
   c) sa composition et sa longueur changent.

7. L'arc électrique est considéré comme stable si...
   a) le courant change peu en soudant normalement.
   b) le cordon de soudure obtenu est uniforme.
   c) le courant n'a pas à être ajusté peu importe l'épaisseur de la pièce.

SOLUTIONS DES EXERCICES

1. Une façon d'aborder ce problème serait de détailler le rapprochement avec le jeu de la course aux plumes.

LA COURSE AUX PLUMES	*LE TRANSPORT DU MIEL*
Le joueur sans plume doit se diriger vers la table remplie de plumes.	L'abeille sans miel se dirige vers le pot de miel.
Le joueur saisit une plume et se dirige vers la table vide.	L'abeille recueille du miel et se dirige vers la ruche.
Les plumes sont emportées par le vent.	Ici, le miel n'est pas emporté par le vent.
Peu de joueurs se rendent à la table remplie de plumes.	Ici, beaucoup d'abeilles se rendent au pot de miel.

   Il est donc évident que la comparaison ne marche pas. En effet, le miel ne peut être transporté par le vent contrairement aux plumes.

2. La comparaison semble bonne au départ. L'eau tombe sans intervention externe comme les plumes emportées par le vent. Il y a cependant un problème. L'eau s'écoule du robinet vers l'égout, mais il n'y a rien qui va de l'égout au robinet. Cette comparaison signifierait que seule l'électrode positive (comparée à l'égout) s'échauffe. Cela ne correspond pas à ce qui se passe dans l'arc. Les ions voyagent de l'électrode positive à l'électrode négative et y déposent de la chaleur. Les deux électrodes s'échauffent.

3. a) La courbe I correspond à la plage supérieure et la courbe II à la plage inférieure.
   b) La courbe II offre la meilleure stabilité étant donné que la caractéristique plongeante est plus évidente.

4. L'ionisation plus forte des atomes dans l'arc provoque l'augmentation de la conductivité électrique et la diminution de la résistance. Le creux de la courbe se situera donc à un niveau plus bas.

5. La stabilité se détériore étant donné que l'on se dirige vers la partie non plongeante de la courbe associée à la source.

6. [c]

7. [a]

ISBN 2-920859-26-9

FIN

Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8970231
Centre d'intérêt: 874

Simard, Paul-Aimé.

Phénomènes électriques en soudage / Paul-Aimé Simard, Richard Parent, Hélène Hensler [pour l'Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation]. -- 2e éd. rev. et corr. -- [Sherbrooke] : Editions du CRP, [1989?-1989?]. 5 v. (43 ; 44 ; 51 ; 39 ; 52 p.) : ill. ; 25 cm. -- (Concepts scientifiques de base)Dépouillement: v. 1. Le courant électrique -- v. 2. Le circuit électrique -- v. 3. Les sources de courant -- v. 4. L'arc électrique -- v. 5. Les conducteurs électriques.

ISBN 2-920859-21-8

ISBN 2-920859-22-6

ISBN 2-920859-25-0

ISBN 2-920859-26-9

ISBN 2-920859-27-7

Vedette(s)-secondaire(s): Parent, Richard • Hensler, Hélène • Université de Sherbrooke. Faculté d'éducation

Descripteur(s): Techniques physiques • Formation professionnelle • Manuel scolaire • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Soudage • Electricité

Le manuel a été rédigé à l'intention des élèves en soudage du secondaire professionnel. Il aborde le domaine de l'électricité et expose des notions qui peuvent aider l'élève à mieux comprendre certains gestes qu'il exécute ou certains phénomènes qui se produisent lorsqu'il soude à l'arc électrique. Le manuel traite de cinq grands thèmes: 1. le courant électrique; 2. le circuit électrique; 3. les sources du courant électrique; 4. l'arc électrique; 5. les conducteurs électriques. Dans le but d'aider l'élève à mieux aborder chacun de ces cinq thèmes, on met à sa disposition, au début de chaque thème, des fiches d'information qui indiquent les problèmes abordés dans le thème, les objectifs généraux et spécifiques visés, la démarche à suivre et le contenu du thème divisé en modules de divers types. La plupart des modules se terminent par une série de questions-synthèses. Cette évaluation préliminaire permet à l'élève de vérifier au fur et à mesure son degré de compréhension de la matière.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8779569

EDUS
I970231-F

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

5e cahier — Les conducteurs électriques

2e édition

Richard Parent
Paul-Aimé Simard
Hélène Hensler

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ÉDITIONS DU CRP

PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES EN SOUDAGE

5e cahier — Les conducteurs électriques

Richard Parent,
Ingénieur en mécanique et chercheur
à l'Université de Sherbrooke

Paul-Aimé Simard,
Professeur au département de Physique
de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke

Hélène Hensler,
Professeure au département de Pédagogie
de la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

ISBN 2-920859-27-7

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 1er trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

ISBN 2-920859-27-7

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 1er trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

Collection: Concepts scientifiques de base

Série: Phénomènes électriques en soudage

2e édition revue et corrigée

Ce matériel didactique a été réalisé
grâce à une subvention accordée par
le ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science du Québec au
programme Recherche-développement pour
les formateurs de l'Université de Sherbrooke.

ISBN 2-920859-27-7

©Éditions du Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
(Québec) J1K 2R1

Dépôt légal: 1er trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation
réservés pour tous les pays.

ÉDUQ

BASE DE DONNÉES INFORMATISÉE SUR
LA RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT QUÉBÉCOISE EN ÉDUCATION

AUTORISATION DE REPRODUCTION

(s'il vous plaît, veuillez remplir un formulaire par document)

AUTEUR(S): SIMARD, Paul-Aimé, PARENT, Richard, HENSLER, Hélène

TITRE: Phénomènes électriques en soudage
1er cahier : Le courant électrique

ÉDITEUR: Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation
Université de Sherbrooke
Sherbrooke, Québec J1K 2R1

DISPONIBILITÉ

- **Ce document est présentement en vente chez l'éditeur**
  Numéro ISBN
- ***Ce document n'est pas présentement en vente***

AUTORISATION

- *J'accepte que ce document soit microfiché sans frais de ma part*
  - ☒ *oui (veuillez signer la formule ci-dessous)*
  - ☐ *non*
- *J'autorise, sans exiger de droits d'auteur, la Centrale des bibliothèques à reproduire et à distribuer sur une base non lucrative, dans le cadre de la base de données* **ÉDUQ**, *les microfiches du document ci-haut mentionné.*

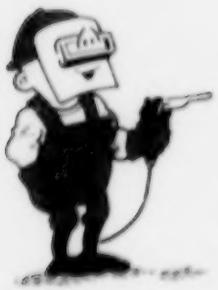
Signature Gérard Raymond Roy **Date** 88-01-17

Nom et prénom du répondant
(en lettres moulées s.v.p.)

dresse Gérard-Raymond Roy
Faculté d'éducation
Université de Sherbrooke
Sherbrooke, Québec J1K 2R1

Retourner à
ÉDUQ
Centrale des bibliothèques
1685, rue Fleury est
Montréal, Québec
H2C 1T1

LES CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES



- Fiche d'information 4
- Module d'introduction 5
- Module d'acquisition 1 9
  La nature du métal
- Module d'approfondissement 1 14
  La nature du courant électrique
- Module de clarification 17
  Le sens du courant électrique
- Module d'acquisition 2 19
  La conductivité électrique
- Module d'approfondissement 2 24
  La nature de la résistance électrique
- Module d'acquisition 3 28
  La résistance et la chaleur
- Fiche de synthèse 34
- Fiche d'évaluation 36
- Module de complément 1 38
  Les alliages
- Module de complément 2 46
  Le soudage électrique par résistance
- Module d'exercices 50

FICHE D'INFORMATION

Problèmes abordés

Pour t'aider à poursuivre l'apprentissage du circuit électrique, le cahier 5 présente la matière relative aux conducteurs électriques. Ce sont eux qui font le lien entre la source de courant et l'arc électrique. Pour bien comprendre cette matière, il faut que tu sois initié à la notion de particules qui forment un courant électrique. Tu pourras ainsi mieux expliquer certains faits rattachés à la technique du soudage, comme les deux exemples suivants, qui peuvent mener à bien des interrogations.

Si tu dégarnis un fil électrique, tu aperçois des brins de métal. Ce sont eux qui permettent la circulation de l'électricité. Pourquoi cela? Comment l'électricité fait-elle pour circuler dans une pièce à souder et dans l'électrode alors qu'elle ne peut le faire dans certains matériaux comme le caoutchouc? Celui-ci sert d'ailleurs à fabriquer les isolants qui te protègent de tout choc électrique!

Le cuivre conduit-il mieux l'électricité que le fer? Pourquoi ne fabriquerait-on pas les fils électriques en nickel plutôt qu'en cuivre? Sais-tu pourquoi tous les métaux que tu utilises à l'atelier se comportent de façon différente lors du soudage?

Objectifs visés

OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de ce module est d'identifier les principes de base relatifs à la structure interne d'un métal ou d'un fil électrique.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Identifier les deux principales classes de matériaux.
- Identifier les deux éléments qui forment la structure interne des matériaux.
- Reconnaître le comportement des électrons dans chacune des deux classes de matériaux.
- Nommer deux propriétés importantes des métaux.
- Identifier ce qui forme un courant électrique.
- Définir la conductivité électrique et la résistivité électrique.
- Reconnaître la vraie nature d'une résistance électrique.
- Définir la notion de chaleur.
- Savoir utiliser la relation entre la quantité de chaleur dégagée et l'intensité de courant.
- Reconnaître la structure en grains propre aux alliages.
- Nommer les différences caractérisant la résistivité électrique des alliages par rapport à celle des métaux.
- Aborder la notion de soudage électrique par résistance.

La circulation de l'électricité

Tu sais déjà que l'électricité voyage dans des conducteurs. De nombreux types de conducteurs électriques sont offerts sur le marché. Le nombre de fils intérieurs, la grosseur de ceux-ci et la protection offerte par la gaine extérieure sont autant de facteurs qui peuvent varier. Cependant, on peut au départ répartir les conducteurs en deux grandes catégories. Un conducteur électrique peut d'abord être fait d'un fil central, en cuivre ou en aluminium, enveloppé d'une gaine isolante. Habituellement, on utilise celui-ci pour des installations permanentes. Un autre type de conducteur est utilisé généralement comme cordon d'alimentation d'appareils électriques. Il est constitué de plusieurs brins torsadés permettant de le plier sans l'endommager. Mais avant d'étudier la structure d'un fil électrique, il faut répondre à une question fondamentale: « Comment le courant électrique peut-il circuler dans ce milieu ? »

Nous voulons dans les prochaines pages répondre à cette question en étudiant de quelle façon l'électricité se propage dans un milieu quelconque. Rappelle-toi que le courant ne circule pas seulement dans un fil électrique. Pense à ton circuit de soudage. La **pièce** que tu soudes permet la conduction du courant. Il en est de même pour l'espace de **l'arc**. De façon à englober toutes ces possibilités, on parle alors d'un **milieu conducteur**. C'est la raison pour laquelle un tel qualificatif est choisi dans la description d'un circuit électrique élémentaire.

Rappel : le cahier 2 t'a déjà fait connaître
les trois parties essentielles de tout circuit électrique.
Il y a la source, le milieu conducteur et la charge.

Les types de matériaux

Le **cuivre** est souvent employé dans la fabrication des fils électriques. C'est un métal qui assure une propagation très efficace de l'électricité. Il permet au fil de bien remplir son rôle, soit le transport de l'énergie électrique. Pareillement, un matériau fréquemment utilisé pour exercer tes talents de soudeur est **l'acier** ou l'**alliage d'acier**. Encore une fois, l'électricité peut être véhiculée à travers un tel métal.

Cependant, tous les matériaux n'offrent pas la même propriété. Certains matériaux empêchent ou rendent difficile la circulation du courant. Tu ne pourrais évidemment pas souder deux pièces de **bois** ou de **caoutchouc**. Les matériaux avec lesquels tu peux effectuer une soudure se rangent dans la catégorie des **métaux**. Les autres matériaux sont appelés **non-métaux**. La première classe t'intéresse particulièrement. Elle comprend tous les matériaux conducteurs d'électricité comme le cuivre et le fer. Elle inclut également l'aluminium, le plomb, l'argent, le zinc, l'or, l'étain et plusieurs autres métaux.

Mais qu'est-ce qui rend si différentes ces deux classes de matériaux ? Pourquoi seuls les métaux conduisent-ils l'électricité ?

L'examen d'un bloc de matériau

Avant de répondre aux deux questions précédentes, il serait opportun d'examiner la structure interne d'un matériau, que celui-ci soit un métal ou un non-métal. Par la suite, il sera possible d'étudier plus en détail la nature particulière d'un métal.

En premier lieu, observe de près un bloc d'un matériau. Imagine-toi en train d'utiliser une loupe ultra-puissante. Un examen attentif révèle de minuscules éléments tous attachés les uns aux autres. Il y en a des milliers dans une petite portion de ce bloc. Ces éléments sont appelés **atomes**.

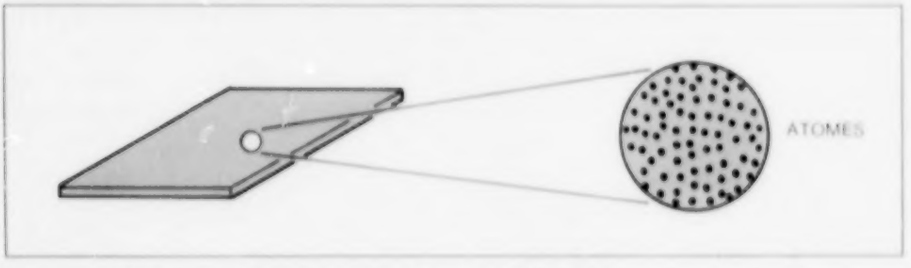


Figure 1 : Éléments formant un matériau (les atomes).

En réalité, les atomes sont si petits qu'ils ne peuvent être observés à l'oeil. Ce sont des particules microscopiques. L'apparence unie et solide du matériau est une conséquence des liens très forts entre les atomes.

Une observation plus approfondie révèle d'autres particules. Les atomes sont constitués d'un noyau autour duquel tournent des éléments encore plus minuscules. On les appelle des **électrons**.

Figure 2 : Éléments en place dans les atomes (les électrons).

Les deux types de particules que nous venons de décrire sont présents dans **tout matériau**. Il est certes difficile de croire cette affirmation puisque la structure atomique ne peut être observée à l'oeil nu. Cependant, dis-toi que bien des choses pourraient être découvertes si l'on pouvait augmenter la capacité de l'oeil.

Une situation comparable : l'observation d'une ville

Imagine-toi au sommet d'une montagne, en pleine nuit, en train d'observer une ville. Des centaines de lumières inondent cette ville. C'est seulement en t'approchant de façon considérable que tu peux observer chacune des lumières de façon individuelle. L'examen d'une de ces lumières peut alors te faire découvrir autre chose surtout si le temps est chaud. Ce sont des petites mouches voltigeant autour de l'ampoule qui constitue le centre de la lumière.

Un bloc de **matériau** comme celui que nous avons déjà observé peut être comparé à la première vision de la **ville** du haut de la montagne. On y retrouve des millions d'unités structurant le bloc en question. Ce sont les **atomes**. On pense alors aux milliers de **lumières** se retrouvant dans la ville. Une observation détaillée des atomes nous fait découvrir des particules encore plus minuscules gravitant autour d'un noyau. Ce sont les **électrons**. On pense alors aux **mouches** tournant autour des ampoules qui forment le centre de la lumière.

Le schéma qui suit illustre cette comparaison.

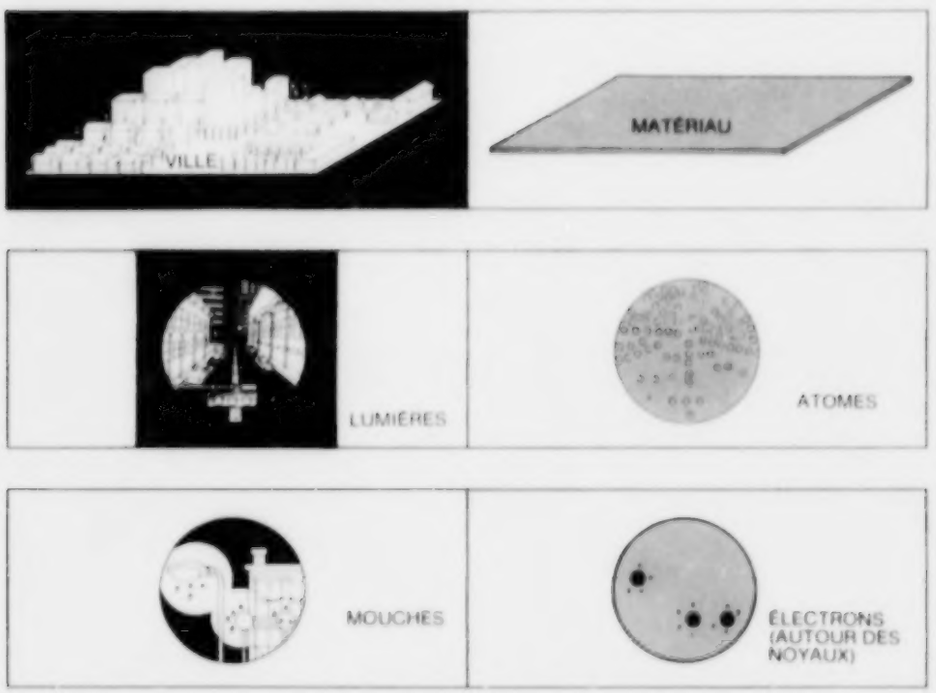


Figure 3 : Comparaison entre l'observation d'une ville en pleine nuit et l'observation d'un bloc de matériau.

Le comportement des particules dans un métal

Maintenant que tu connais les éléments structurant tous les matériaux, tu es prêt à étudier les différences qui existent entre les deux classes principales de matériaux. Le prochain module détaille la **nature d'un métal**. Tu constateras que le comportement de certaines particules est spécial dans un tel type de matériau.

Tu as eu l'occasion d'apprendre plusieurs notions relatives à l'électricité dans les quatre premiers cahiers. On y a alors exploité très souvent la comparaison entre la circulation de l'électricité et l'écoulement de l'eau. **Mais comment se fait-il qu'un fil électrique brisé ne laisse pas fuir l'électricité tout comme un tuyau percé laisse s'écouler l'eau à l'extérieur du circuit ?** Poursuis ta lecture. Tu pourras ainsi répondre à cette question.

SAVAIS-TU QUE...

ATOME VIENT DU MOT GREC ATOMOS QUI SIGNIFIE « INDIVISIBLE ». CE MOT FUT UTILISÉ PAR DÉMOCRITE DÈS 400 AVANT J.C. POUR DÉCRIRE LES UNITÉS DE BASE DONT LA MATIÈRE EST CONSTITUÉE. LE CONCEPT D'INDIVISIBILITÉ FUT ABANDONNÉ EN 1897 ALORS QUE LE PHYSICIEN J.J. THOMSON DE CAMBRIDGE (ANGLETERRE) FIT LA DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTRON

LA NATURE D'UN MÉTAL

Les propriétés des métaux

Tu sais maintenant que tous les matériaux se divisent en deux grandes classes, soit les métaux et les non-métaux. Attardons-nous à la première classe, celle des métaux. Lorsque tu fabriques des joints soudés, tu utilises à chaque fois des matériaux de ce type. Par exemple, l'acier, le cuivre et l'aluminium sont souvent employés dans plusieurs activités de soudage.

Chaque métal possède des caractéristiques propres. La couleur, le fini de surface, la dureté, la température de fusion, le degré de corrosion ne sont que quelques-unes des propriétés qui varient d'un métal à l'autre. Cependant, tous les métaux présentent deux propriétés communes. Ils ont la capacité de conduire l'électricité et la chaleur. **On les appelle conducteurs électriques et thermiques**. Cela signifie que, si l'on branche une source de courant électrique aux extrémités d'une tige de métal, la tige assure le transfert du courant d'un bout à l'autre. La même chose se produit si l'on place cette fois une source de chaleur à une des extrémités (par exemple un élément chauffant). L'autre extrémité devient chaude après un certain temps. La tige assure le transfert de la chaleur.

En fait, tu vérifies ces deux propriétés de façon régulière à l'atelier. Ta pièce de métal fait partie du circuit électrique de soudage. Elle permet ainsi **la conduction de l'électricité**. De plus, elle devient chaude rapidement lorsque tu chauffes une section limitée de cette pièce. Le matériau assure donc **la conduction de la chaleur**.

> **Tous les métaux permettent la conduction de l'électricité et de la chaleur. C'est pourquoi on les appelle *CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES ET THERMIQUES*.**

Limitons-nous pour l'instant à la première propriété, c'est-à-dire à la conduction de l'électricité. Examinons la structure interne d'un métal pour essayer de découvrir la cause de ce phénomène. Il se produit en effet quelque chose expliquant pourquoi les métaux sont conducteurs électriques et les non-métaux non-conducteurs électriques.

Les particules dans un métal

Tu connais déjà les particules qui forment la structure interne d'un métal. Elles ont été présentées dans le module d'introduction. Il y a tout d'abord les **atomes**. Ils sont des centaines de milliards tous liés les uns aux autres pour former un petit bloc de métal. D'autres particules encore plus minuscules font partie de chacun des atomes. Ce sont les **électrons**. Ils sont en rotation autour du noyau de l'atome. La figure 4 résume cette situation. Tu peux retourner au module précédent si tu désires plus de détails.

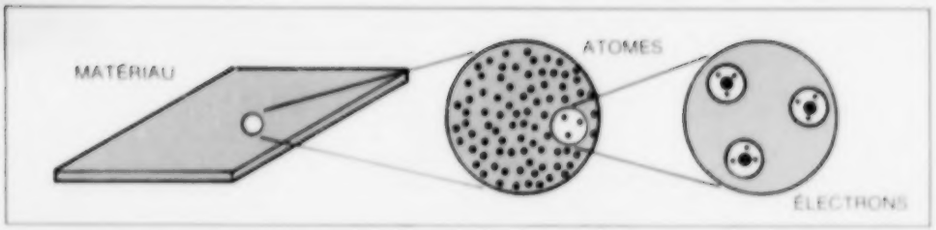


Figure 4 : Particules structurant une plaque de métal.

Le comportement des électrons

Observons plus attentivement les électrons. Ils restent à proximité du noyau, car celui-ci agit comme un aimant. Leur liberté de mouvement s'en trouve limitée. Cependant, pour un métal, un phénomène particulier se produit. **Chaque atome possède au moins un électron faiblement lié à son noyau**. Cet électron se détache du noyau et est en mesure de circuler librement dans tout le métal.

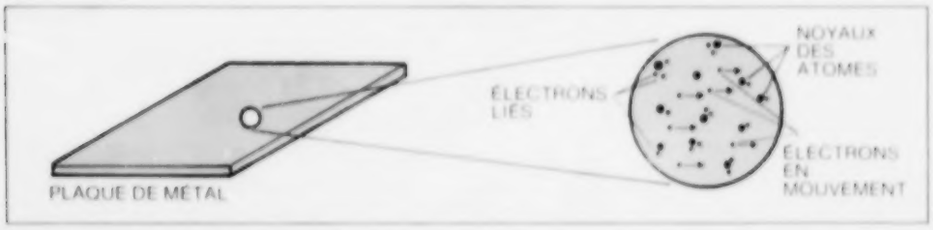


Figure 5 : Électrons libérés par les atomes.

Des observations similaires sur tous les autres métaux apportent la même conclusion. Le phénomène de l'électron libre se présente chaque fois.

Tous les métaux sont constitués d'atomes pouvant libérer chacun un électron. Les autres électrons demeurent liés au noyau de l'atome.

Qu'en est-il des électrons dans les non-métaux ? Des observations montrent que la situation n'est pas comparable. En effet, les liens entre les noyaux des atomes et les électrons sont extrêmement forts. Aucun électron ne peut être libéré dans un tel matériau.

Tous les non-métaux sont constitués d'atomes ne pouvant pas libérer d'électrons. Ceux-ci demeurent donc tous liés au noyau de l'atome.

Ce phénomène serait-il à la base de l'explication concernant la conductivité électrique dans les matériaux ? Souviens-toi que les métaux sont conducteurs électriques et les non-métaux non-conducteurs électriques.

Effectivement, c'est le cas. Une étude détaillée des électrons libres montre qu'ils sont chargés d'électricité. **Ce sont ces particules qui servent de véhicules à l'électricité**. Cela explique pourquoi les non-métaux sont non-conducteurs d'électricité. Ils ne possèdent pas d'électrons libres.

Les électrons libérés par les atomes d'un métal sont les éléments qui transportent l'électricité.

C'est pourquoi on peut appeler tous les métaux *CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES* et tous les non-métaux *NON-CONDUCTEURS* ou *ISOLANTS ÉLECTRIQUES*.

Des gens et des mouches !

Afin de mieux comprendre ce qui se produit à l'intérieur d'un métal, il serait bon de comparer la situation réelle à une situation plus facile à visualiser, telle une situation que l'on rencontre dans la vie quotidienne.

Imagine un groupe de personnes réunies dans un endroit bien précis à l'extérieur de la maison. Par un soir d'été, un taux élevé d'humidité entraîne la présence de petites mouches. Celles-ci se mettent alors à voler au-dessus des gens pour ensuite se faufiler parmi ceux-ci. Après un certain temps, on voit des mouches qui tournent autour de chaque personne. Par contre, d'autres mouches continuent de voltiger en toute liberté au-dessus de l'ensemble des gens.

Figure 6 : Nuage de mouches voltigeant parmi un groupe de personnes.

Est-ce que tu perçois un rapprochement possible entre l'exemple que nous venons de te donner et ce qui se produit à l'intérieur d'un métal ?

En fait, nous supposons que les gens et les mouches sont regroupés de façon assez serrée, formant ainsi une petite foule ou un **groupe**. Celui-ci est comparé à un morceau de **métal**.

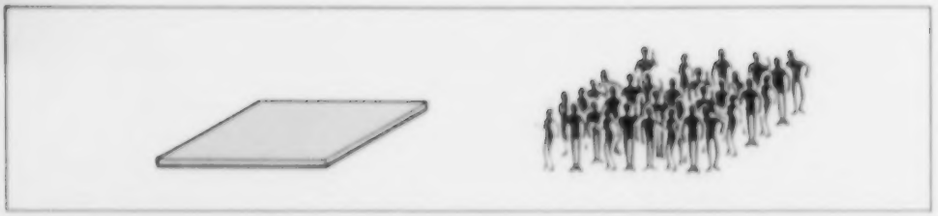


Figure 7 : Première partie de la comparaison = groupe - plaque.

Les noyaux des **atomes** du métal sont comparés à toutes les **personnes** qui font partie du groupe.

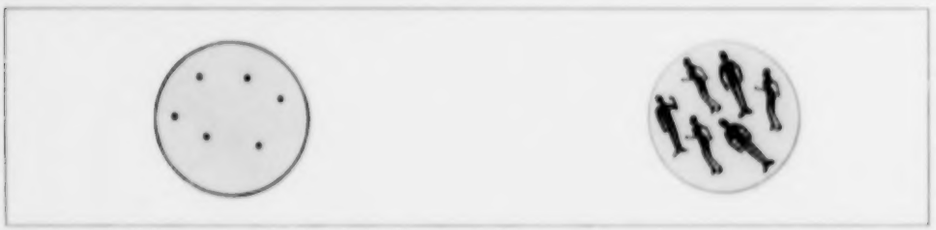


Figure 8 : Deuxième partie de la comparaison = personnes - atomes.

Enfin, les parties encore plus minuscules que l'on trouve dans les atomes sont les **électrons**. Ceux-ci sont comparés aux **mouches** voltigeant parmi la foule.

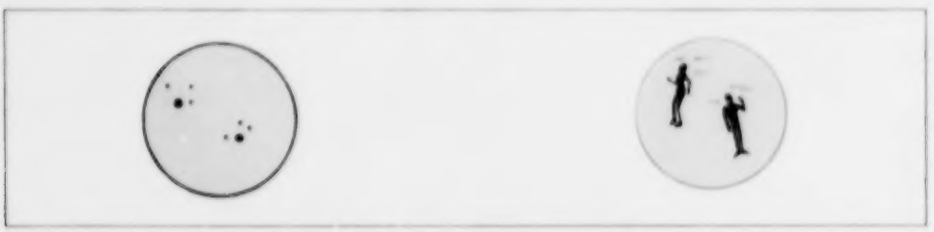


Figure 9 : Troisième partie de la comparaison = mouches - électrons.

Rappelle-toi ce que permet l'interaction entre les atomes et les électrons. Un seul électron est libéré par chaque atome du métal. Les autres électrons restent liés au noyau de l'atome. Pareillement dans la comparaison, certaines mouches volent autour de la tête des gens. D'autres mouches circulent librement d'une personne à l'autre.

En résumé, cette comparaison tente de te faire visualiser le fait suivant : les liens entre atomes (noyaux) et électrons libérés sont faibles comme les liens entre gens et mouches qui volent librement sont faibles.

Le courant électrique dans les métaux

Tu sais maintenant pourquoi les matériaux faisant partie de la classe des métaux sont différents de ceux faisant partie de la classe des non-métaux.

Tu as également une bonne idée de ce qui provoque le transport de l'électricité. C'est le phénomène de l'électron libre. Ceci peut grandement t'aider dans l'étude de la nature du courant électrique. Si le cahier 1 t'a permis de comprendre les caractéristiques d'un courant électrique (tension et intensité), il ne t'a pas présenté de quelle façon est structuré ce courant. Le module d'approfondissement qui suit vient préciser davantage la **nature d'un courant électrique.**

- *Quel est le nom des particules faisant partie de la structure interne de tous les matériaux ?*
- *Nomme deux propriétés communes à tous les métaux.*
- *À l'intérieur d'un métal se produit quelque chose de spécial entre atomes et électrons. Essaie de l'expliquer en tes propres mots.*
- *Pourquoi un non-métal ne conduit-il pas l'électricité ?*

SAVAIS-TU QUE...

DANS LA CATÉGORIE DES MÉTAUX, ON DISTINGUE LES MÉTAUX FERREUX COMME LE FER, LA FONTE ET L'ACIER ET LES MÉTAUX NON FERREUX COMME L'ALUMINIUM, LE CUIVRE ET LE PLOMB.

MODULE D'APPROFONDISSEMENT 1

LA NATURE DU COURANT ÉLECTRIQUE

L'intérieur d'un fil électrique

Le module précédent t'a permis d'aborder plusieurs aspects propres aux métaux et de concevoir pourquoi ils diffèrent des autres matériaux. Tu sais qu'un fil électrique est fabriqué de métal, c'est pourquoi on l'appelle parfois fil métallique. Essayons maintenant de comprendre comment un courant électrique s'établit dans un tel fil.

Le phénomène se produit dans un espace réduit et les particules en jeu sont extrêmement petites. Une comparaison serait donc nécessaire de façon à bien visualiser les explications.

Un courant de mouches !

Imagine-toi dans le corridor d'une polyvalente. C'est l'heure de la pause et tous les élèves, dispersés dans ce corridor, sont en train de discuter. Une porte est ouverte de façon à rafraîchir l'endroit. Cependant, un fait inhabituel se produit ! Une grande quantité de mouches pénètrent à l'intérieur et se mettent à voler parmi les élèves. Un élève décide alors d'ouvrir la porte située à l'autre extrémité du corridor. Ceci provoque un fort courant d'air entre les deux portes tout le long de ce corridor.

Que se produit-il selon toi ? Si tu penses que les mouches sont emportées par le courant d'air, tu as raison. C'est un « **courant de mouches** » d'un bout à l'autre du corridor. Imagine s'il y avait des mouches qui entraient continuellement par la première porte, nous serions en présence d'un « **courant continu de mouches** ».

Est-ce que cette situation pourrait être comparée à la circulation d'un courant électrique dans un fil métallique ? Est-ce qu'elle pourrait aider à visualiser ce qui se produit dans ce fil ? Voyons cela ensemble.

Le **corridor d'école** est tout d'abord comparé à un **fil électrique**. Dans les deux cas, nous avons une voie plus longue que large qui permet la circulation d'éléments quelconques d'un bout à l'autre.

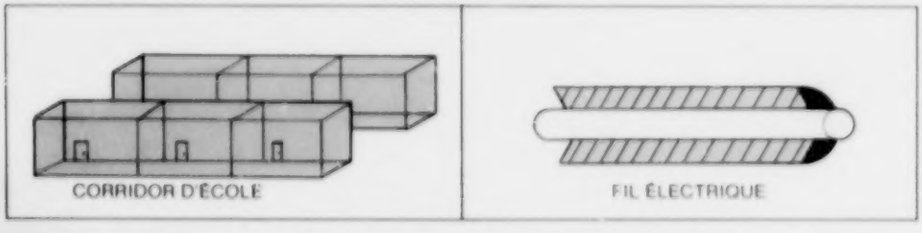


Figure 10 : Première partie de la comparaison = corridor - fil.

À l'heure de la pause, une foule **d'élèves** occupent l'espace du corridor. Cette situation est comparable aux **atomes** qui forment la structure du fil métallique.

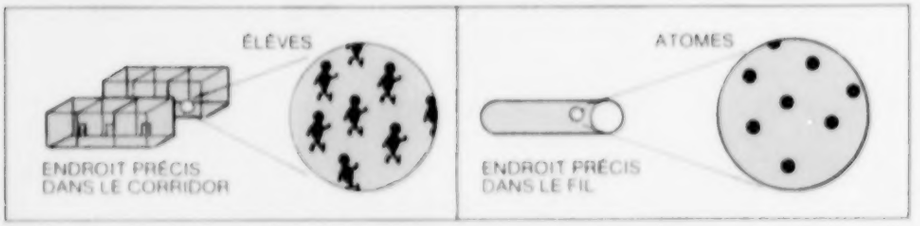


Figure 11 : Deuxième partie de la comparaison = élèves - atomes.

Le courant d'air en présence dans le corridor permet la circulation des mouches entre les élèves. Encore là, une situation comparable peut être observée dans une plaque de métal. Le module précédent t'a permis de comprendre un phénomène bien particulier concernant les particules des atomes dans un métal. **C'est le phénomène de l'électron libéré**. En effet, plusieurs électrons relâchés par les atomes sont en mesure de circuler librement. Ils se faufilent entre les élèves.

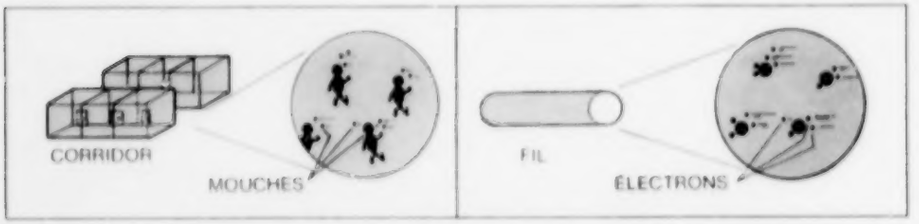


Figure 12 : Troisième partie de la comparaison = mouches - électrons.

Nous t'avons expliqué ce qui provoque le mouvement des mouches d'un bout à l'autre du corridor. C'est le vent qui crée un courant d'air. À quoi cela peut-il être comparé dans un fil métallique ? Tout d'abord, le module précédent t'a appris une deuxième chose très importante concernant la circulation de l'électricité. Ce sont les électrons libérés par les atomes qui sont les **véhicules transporteurs d'électricité**. Mais qu'est-ce qui provoque un courant électrique ? Il existe une force qui pousse celui-ci à circuler tout comme, dans notre comparaison, le vent est la force qui pousse les mouches à circuler. Tu as vu le nom de cette force au cahier 1. Est-ce que tu te le rappelles ?

Rappel : la force qui pousse les charges électriques à circuler dans un circuit s'appelle la tension. Elle est créée par la source de courant.

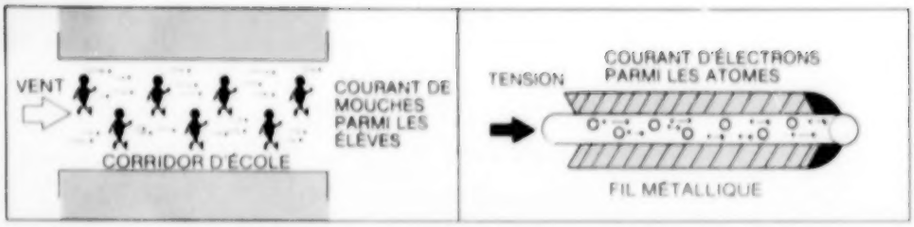


Figure 13 : Quatrième partie de la comparaison = vent - tension.

La constitution d'un courant électrique

Tu sais maintenant comment un courant électrique s'établit dans un fil métallique. Ce sont les **électrons libres** qui véhiculent l'électricité. Ceux-ci sont poussés à circuler dans une certaine direction par la tension de la source de courant. Il y a cependant une chose importante à noter ici.

C'est que les électrons ne sont qu'une infime partie de la tige métallique formant le fil électrique. De plus, ce ne sont pas tous les électrons qui circulent mais seulement quelques-uns libérés par les atomes.

Cela fait ressortir les différences entre un courant électrique et un courant d'eau. Une première différence vient d'être confirmée. Dans un tuyau d'eau, tout ce qui se retrouve à l'intérieur est en mouvement. C'est évidemment l'eau! Dans un fil électrique, seulement une minuscule partie de la matière est en mouvement. Ce sont les **électrons libres** qui constituent les **charges électriques.**

Ce dernier énoncé résume bien le module. Pour compléter la récapitulation, essaie de répondre aux questions suivantes.

- *Dis en tes propres mots quelles sont les particules en mouvement dans un fil électrique et quelles sont celles qui demeurent en place ?*

- *Quelle force pousse les charges électriques à circuler dans un fil métallique ?*

Si tu comprends maintenant mieux la nature d'une courant électrique, tu dois cependant poursuivre l'étude des conducteurs électriques. Tous les métaux permettant la conduction de l'électricité. Tu sais déjà cela. Cependant, chaque métal présente un degré de conductivité propre. Il y a de bons, de moyens et de moins bons conducteurs électriques. Le module d'acquisition 2 t'expliquera pourquoi il y a une si grande diversité de conducteurs.

MODULE DE CLARIFICATION

LE SENS DU COURANT ÉLECTRIQUE

Une confusion possible !

Rappelle-toi un instant le quatrième cahier. L'étude de l'arc électrique t'avait permis de visualiser le mouvement des particules en jeu dans le plasma. Tu as appris que les **ions** se déplacent du **positif au négatif** et que les **électrons** se déplacent du **négatif au positif**. Cependant tes nouvelles connaissances peuvent créer un questionnement. Comment concilier ces faits avec la convention acceptée de tous sur le sens de la circulation du courant électrique ? Rappelle-toi le cahier 1. On affirmait alors ce qui suit.

> **Le sens conventionnel du courant est de la *BORNE POSITIVE* à la *BORNE NÉGATIVE*.**

De plus, ce cahier t'a fait clairement comprendre qu'un courant électrique dans un fil est formé **d'électrons**. Dans le but d'éliminer la contradiction qui pourrait s'installer ici, voyons une situation simple et concrète qui se rapproche de celle que nous examinons.

Un problème de peinture grise !

Imagine deux peintres qui désirent fabriquer de la peinture grise à partir d'un pot de peinture blanche et d'un pot de peinture noire.

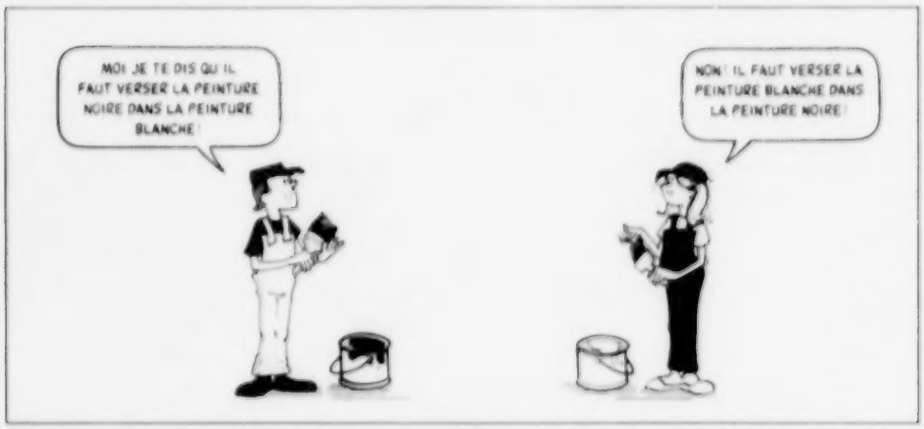


Figure 14 : Deux peintres discutent comment faire de la peinture grise.

Évidemment, tu connais la solution ! Tu sais que l'on peut verser un pot dans l'autre sans choisir la couleur de la peinture qui sera transvidée. En fait, ajouter du noir à du blanc est **équivalent** à ajouter du blanc à du noir. Dans

les deux cas, le mélange donne du gris. Nos deux peintres s'entendent alors sur une convention : il faudra verser la peinture blanche dans la peinture noire. En d'autres mots, **la peinture blanche s'écoulera vers la peinture noire**.

Le courant électrique

Le problème simple de la peinture ressemble assez bien à celui du sens de la circulation du courant électrique. Pour effectuer le rapprochement, associons les charges électriques **positives** à la peinture **blanche** et les charges **négatives** à la peinture **noire**.

Nous présentons ici la comparaison. Elle te permettra de mieux comprendre la question du **sens du courant électrique**.

LA PEINTURE GRISE	*LE COURANT ÉLECTRIQUE*
Pour produire de la peinture grise, on peut, soit verser la peinture blanche dans la peinture noire, soit verser la peinture noire dans la peinture blanche.	Les effets électriques du courant peuvent se comprendre en considérant que les charges positives vont du positif au négatif ou encore que les charges négatives vont du négatif au positif.
Les peintres adoptent une convention : la peinture blanche est versée dans la peinture noire.	Les scientifiques adoptent une convention : le sens du courant est celui de l'écoulement des particules chargées positivement.
Donc la peinture s'écoule du *BLANC* vers le *NOIR*.	Donc le courant circule du *POSITIF* au *NÉGATIF*.
L'écoulement de la peinture noire vers la peinture blanche donne un résultat **équivalent**.	La circulation des électrons (négatifs) du négatif au positif donne un résultat considéré comme **équivalent**.

Donc lorsque tu penses au courant électrique, prends toujours comme référence les **charges positives**. Retiens cette convention même si nous t'avons déjà dit que ce sont les électrons (charges négatives) qui circulent dans les fils électriques (module précédent). Tu avais vu à ce moment que les ions (charges positives) étaient fixes. Ils ne circulaient pas dans le fil en question. Malgré cela, essaie de comprendre que dans ce cas, l'effet général est le même que si l'on avait des particules positives circulant dans le sens inverse, c'est-à-dire du positif au négatif. L'effet électrique global est équivalent.

Cette mise au point étant faite, tu peux maintenant poursuivre l'étude des conducteurs électriques.

MODULE D'ACQUISITION 2

LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Le degré de conductivité électrique

Lorsque l'on mesure la facilité avec laquelle les métaux permettent la conduction du courant électrique, on s'aperçoit que chaque métal présente un degré de conductivité propre. Les métaux peuvent être classés comme étant conducteurs bons, moyens ou médiocres. On peut classifier le cuivre et l'argent dans les bons conducteurs. Les fils électriques sont d'ailleurs conçus en cuivre. Il existe ensuite l'aluminium et le magnésium qui sont qualifiés de conducteurs moyens. On peut finalement citer le fer et le nickel comme conducteurs médiocres. Mais pourquoi y a-t-il des conducteurs électriques plus efficaces que d'autres ?

La résistivité électrique

Dans le but de répondre à la question précédente et de mieux comprendre ce qu'est la **conductivité électrique**, il faut introduire une nouvelle notion. C'est la **résistivité électrique**. Dis-toi que ces deux propriétés sont contraires l'une à l'autre. Un métal bon conducteur est peu résistif et un métal moins bon conducteur est plus résistif.

La conductivité électrique est la propriété qu'ont les métaux de permettre la circulation du courant.

La résistivité électrique est la propriété qu'ont les métaux de résister à la circulation du courant.

Par exemple, le cuivre est un métal fortement conducteur et faiblement résistif. Le nickel est, quant à lui, moins conducteur et plus résistif.

La propriété de résistivité électrique peut nous aider dans notre étude. Il faudrait visualiser comment la structure interne d'un métal se présente pour être résistive. On pourrait alors y découvrir pourquoi il existe une grande diversité de conducteurs électriques.

La structure interne des métaux

Le module d'acquisition 1 t'a présenté en détail la nature d'un métal. Tu as pu apprendre que des électrons libérés circulent à travers les atomes formant un morceau de métal. Ce sont eux qui servent à véhiculer l'électricité. Cependant, si ces électrons sont libres de circuler, il ne faut toutefois pas croire que leur cheminement est aisé. Ils doivent en effet éviter tous les atomes et les contourner pour se faufiler dans les espaces disponibles. Ceci n'est pas toujours facile. Certains métaux présentent une structure interne très serrée. Les

atomes peuvent être **plus gros** ou la distance entre ces atomes peut être **très petite**. De plus, rappelle-toi qu'un atome ne **libère qu'un seul électron**. En résumé, le cheminement des électrons peut être non seulement rendu plus long mais également plus ardu.

Chaque métal présente une **structure interne spécifique**. Il offre donc un **degré de résistivité qui lui est propre**. Cette propriété permet de le classer dans les conducteurs bons, moyens ou médiocres.

La machine à boules !

Dans le but de mieux visualiser les concepts de conductivité et de résistivité électrique, nous te présentons une comparaison avec une machine à boules. Tu as peut-être déjà joué avec une telle machine dans une arcade. Cette comparaison t'aidera à mieux comprendre ce que nous voulons dire.

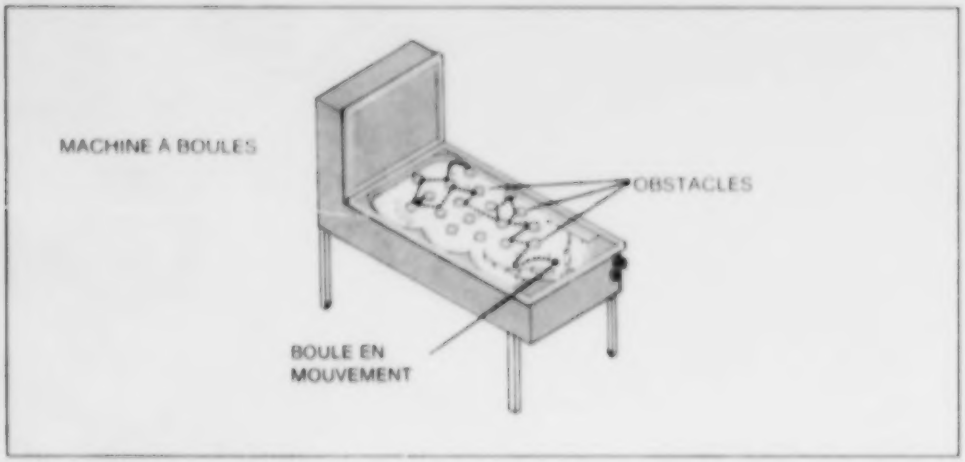


Figure 15 : Cheminement d'une boule dans une machine à boules.

Dans une machine de ce genre, les boules arrivent en haut du jeu et sont attirées vers le bas à cause de la pente descendante. Cependant, elles ont de la difficulté à se rendre à cet endroit de façon directe et rapide à cause des nombreux obstacles se retrouvant sur leur chemin. Ceux-ci opposent une résistance au déplacement aisé des boules.

On pourrait dire qu'il y a en quelque sorte **une « résistivité » tout le long du panneau de la machine**. Plus il y a d'obstacles, plus importante est la « résistivité ». Moins il y a d'obstacles, moins importante est cette « résistivité ». Dans ce deuxième cas, le cheminement des boules est facilité. On pourrait dire que la **« conductivité » est améliorée**.

Le passage du courant électrique dans un fil métallique ou dans une pièce de métal présente un contexte similaire. Les électrons libres partent d'une borne et voyagent vers une autre borne. Ils ont comme mission de transporter l'énergie électrique. Pour ce faire, il doivent cependant circuler à l'intérieur du

métal parmi les millions d'atomes constituant ce matériau. Ils ont donc des obstacles à contourner. Plus il y a d'atomes sur le chemin des électrons, plus importante est la **résistivité**. Moins il y a d'atomes sur le chemin des électrons, moins importante est cette résistivité. Dans ce deuxième cas, le cheminement des électrons est facilité. On dit que la **conductivité est améliorée**.

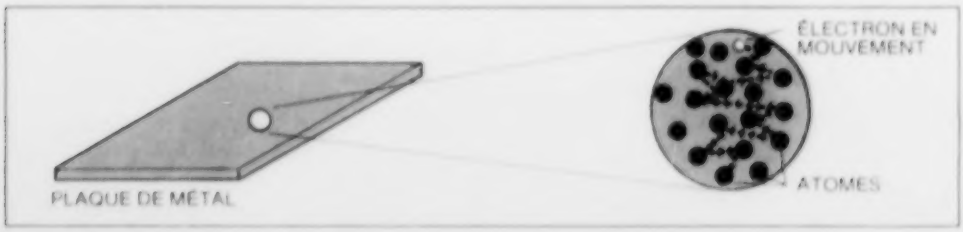


Figure 16 : Cheminement d'un électron parmi les atomes du métal.

Est-ce que tu perçois la comparaison pouvant être établie entre le mouvement des électrons dans un métal et le mouvement des boules, dans une machine à boules ? Si tu n'es pas certain, porte une attention spéciale à ce qui suit.

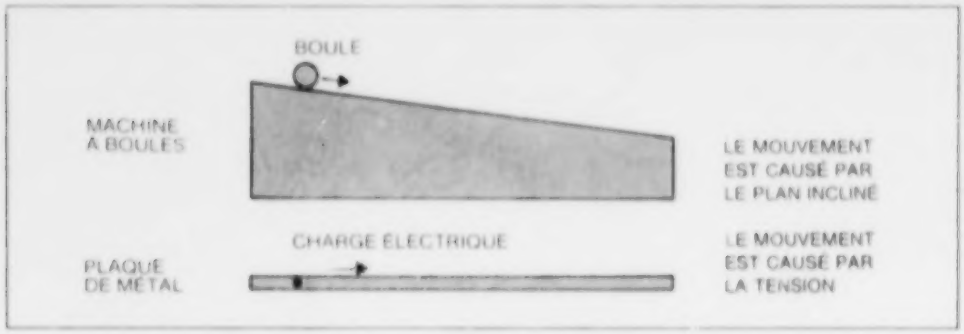


Figure 17 : Comparaison entre la cause du mouvement dans la machine à boules et celle dans la plaque métallique.

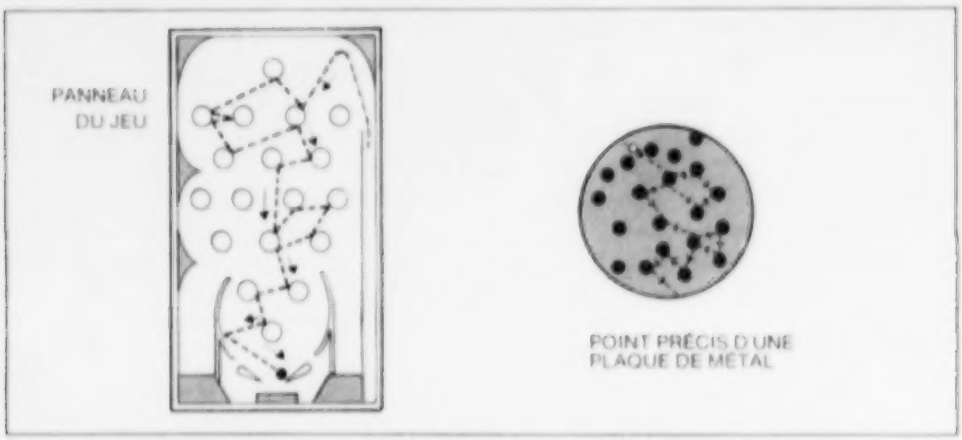


Figure 18 : Comparaison entre le cheminement de la boule dans le jeu et celui de l'électron dans un métal.

La comparaison est maintenant présentée en détail. Nous décrivons la situation de la machine à boules dans la partie gauche de la page. Ensuite, nous décrivons la situation du conducteur électrique dans la partie droite de la page. Cela t'aidera !

Les boules cherchent à se rendre dans le bas du panneau.	Les charges électriques (électrons) cherchent à se rendre à l'autre extrémité du fil métallique ou de la plaque de métal.
Cependant, des obstacles se présentent sur le chemin des boules.	Cependant, des atomes se présentent sur le chemin des électrons.
Les boules pourront être ralenties si elles ne font que frôler un obstacle.	Les électrons pourront être ralentis s'ils ne font que frôler un atome.
Les boules seront déviées si elles frappent un obstacle plus directement.	Les électrons seront déviés s'ils frappent un atome plus directement.
Les boules pourront rebrousser chemin (pour un court laps de temps) si elles frappent un obstacle de plein fouet.	Les électrons pourront rebrousser chemin (pour un court laps de temps) s'ils frappent un atome de plein fouet.

DANS LA MACHINE À BOULES	*DANS LE MORCEAU DE MÉTAL*
La facilité à traverser le parcours dépend des chocs entre les boules et les obstacles.	**La facilité à traverser le parcours dépend des chocs entre les électrons et les atomes.**

La diversité des conducteurs

Tu sais très bien qu'il existe toutes sortes de machines à boules. Certaines demandent une bonne vigilance de ta part puisque la boule se rend très rapidement en bas. D'autres offrent un grand nombre de rebonds: la boule a donc plus de difficulté à se rendre en bas. Dis-toi que c'est la même chose dans la structure interne des métaux. Les métaux présentant une bonne conductivité électrique possèdent une structure interne favorable au cheminement aisé des électrons. Leur résistivité électrique est faible. C'est le cas du cuivre. Par contre, à cause de leur structure, d'autres métaux rendent plus difficile le cheminement des électrons parmi les atomes. Ils ont une résistivité électrique plus importante et, par conséquent, une conductivité électrique plus faible. C'est le cas du fer ou de l'acier.

EN RÉSUMÉ, C'EST L'ARRANGEMENT DES ATOMES DANS LA STRUCTURE INTERNE D'UN MÉTAL QUI RÈGLE LA VALEUR DE CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE LUI ÉTANT ASSOCIÉE.

Voici maintenant quelques questions synthèses qui t'aideront à voir si tu as bien compris l'essentiel de ce module.

- *Quelle est la différence entre la conductivité électrique et la résistivité électrique ?*
- *Dis-nous en tes propres mots quelles différences existant dans la structure interne des métaux expliquent la diversité des conducteurs électriques (bons, moyens ou médiocres) ?*

Résistivité et résistance

Tu devrais avoir compris dans ce module l'étroite relation existant entre le phénomène de conductivité électrique et celui de résistivité électrique. Cependant, tu as peut-être noté que le terme **résistivité** semble très proche du terme **résistance**. Y a-t-il une relation entre les deux ? Rappelle-toi tout d'abord le cahier 2. La notion de résistance électrique a alors été traitée dans un module d'acquisition. Les effets d'une résistance ont été détaillés à l'aide d'une comparaison avec l'écoulement de l'eau. La structure interne de cette résistance électrique n'a toutefois pas été présentée. Il serait donc utile ici de compléter ton apprentissage concernant cette notion. Le prochain module présente ce qu'est la nature d'une résistance électrique. Tu verras que le module que tu termines à l'instant est important pour cette étude.

SAVAIS-TU QUE...

LES VALEURS DE CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE VARIENT DANS UNE GAMME ASSEZ LARGE POUR LES DIFFÉRENTS MÉTAUX COMME L'INDIQUE LE TABLEAU SUIVANT. CELUI-CI FAIT UNE COMPARAISON PAR RAPPORT À LA CONDUCTIVITÉ DE L'ARGENT (100%).

ARGENT	100	FER	15
CUIVRE	99	TUNGSTÈNE	14
OR	76	ÉTAIN	14
ALUMINIUM	63	NICKEL	13
ZINC	30	ACIER	12
MANGANÈSE	16	PLOMB	8

MODULE D'APPROFONDISSEMENT 2

LA NATURE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

La notion de résistance électrique

Que signifie le terme résistance électrique? Y a-t-il moyen de le relier à la notion de **résistivité** électrique détaillée dans le module précédent? Tout d'abord, dis-toi que le terme **résistance** est souvent employé pour exprimer une difficulté dans un cheminement quelconque. Dans le cahier 2, tu as lu qu'un courant d'eau subissait une **résistance** lorsqu'il se présentait dans un **étranglement**. Dans le module précédent, les électrons subissaient une certaine **résistance** dans leur mouvement à travers les atomes. Tu peux retourner à ces modules si tu le désires pour y jeter un coup d'oeil.

Par ailleurs, le terme **résistance** est aussi employé pour représenter un élément particulier dans un circuit. Tu as également vu cela dans le cahier 2. C'est le cas des appareils électriques. Pense par exemple aux éléments chauffants d'une cuisinière électrique ou d'un grille-pain.

Figure 19 : Exemples d'éléments chauffants.

On peut qualifier ces deux appareils de **résistances électriques**, car le courant traverse les éléments avec difficulté. Son cheminement est alors plus ardu si l'on compare au moment où il était dans les fils électriques. Tout cela crée un effet au niveau de l'appareil. C'est d'ailleurs l'utilité apportée dans notre exemple. Les éléments chauffants servent à créer une grande quantité de chaleur.

Rappel: l'énergie empruntée au niveau de la résistance
sert à créer une utilité quelconque,
telle la chaleur.

La notion de résistivité électrique

Le module précédent peut t'aider à comprendre encore mieux **la nature d'une résistance électrique**. Rappelle-toi que si tous les métaux permettent la

circulation du courant, ils le font cependant de façon variable d'un métal à l'autre.

Tu as constaté que le cheminement des électrons libres n'est pas toujours facile parmi les atomes du métal. Certains métaux présentent des structures internes très complexes. C'est ce qui cause la **résistivité électrique**. Essayons maintenant de découvrir le lien entre cette notion et celle de résistance vue précédemment.

Tout d'abord, tu sais que la plupart des fils électriques sont fabriqués en cuivre. C'est un métal ayant une **forte conductivité électrique** et une **faible résistivité électrique**. À l'opposé, les éléments chauffants possèdent une forte résistance. La substance qui les compose présente une conductivité électrique faible et donc une résistivité électrique élevée. La résistance d'un élément quelconque dépend donc de la résistivité de la matière qui le forme.

Le phénomène dans la résistance

Si le cahier 2 t'a permis de comprendre les effets d'une résistance, il ne t'a toutefois pas décrit la structure interne de cette résistance. Tu es maintenant en mesure de visualiser cette structure grâce aux modules précédents.

Examinons le cheminement d'un courant électrique dans un circuit comportant une résistance. Au départ, l'électricité circule de façon aisée dans le fil électrique; puis, la résistance se présente sur son chemin. Les électrons qui sont les éléments transporteurs d'électricité arrivent dans un nouveau milieu. La résistivité électrique de ce milieu est plus élevée. Les électrons ont alors plus de difficulté à circuler. Ils dépensent une certaine quantité d'énergie dans tous leurs efforts pour traverser le milieu en question. Enfin, la sortie se présente. Les électrons retombent dans un milieu où la circulation est plus aisée. Ils sont en fait revenus dans un fil électrique. La résistance électrique a été traversée.

Une randonnée en « véhicule tout terrain »

Afin de mieux fixer ton idée sur ce que nous venons de décrire, comparons tout cela à une situation concrète qu'il t'est peut-être déjà arrivé de vivre. Imagine-toi en train de traverser des champs à l'aide d'un véhicule motorisé tout terrain parfois appelé « trois ou quatre roues ». Tu rencontres tout à coup une région où les arbres sont très nombreux. Tu dois ralentir ton bolide et porter une plus grande attention pour éviter les arbres. Cette région offre une certaine résistance à ton cheminement. Finalement, tu rencontres à nouveau un champ plus clairsemé. Tu augmentes la vitesse et ton déplacement redevient plus aisé comme au départ.

Comparons cette randonnée en « véhicule tout terrain » au phénomène de résistance dans un circuit électrique.

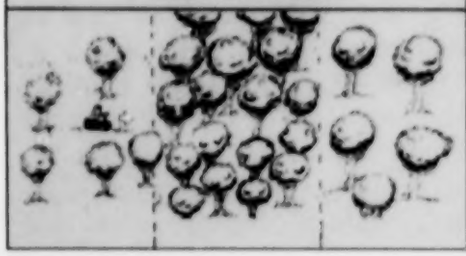
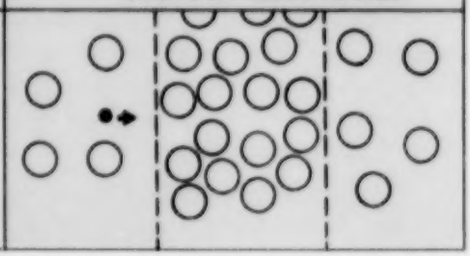
CIRCULATION DU VÉHICULE « TOUT TERRAIN »	CIRCULATION DU COURANT ÉLECTRIQUE
	

Figure 20 : Comparaison entre une randonnée en « véhicule tout terrain » et l'effet d'une résistance dans un circuit électrique.

Au départ, le véhicule circule dans un champ clairsemé. Son cheminement est facile.	Au départ, les électrons circulent dans un matériau possédant une excellente conductivité électrique. Leur circulation est facile.
Puis, le véhicule entre dans une forêt où les arbres sont très nombreux. Le cheminement devient plus difficile.	Puis, les électrons rencontrent l'élément formant la résistance. Celui-ci est conçu avec un métal offrant une résistivité électrique forte. Des atomes plus serrés dans la structure interne peuvent en être la cause. La circulation des électrons devient plus difficile.
Enfin, le véhicule atteint une région où les arbres sont plus distants. Il peut reprendre sa vitesse de croisière. Son cheminement est à nouveau aisé.	Enfin, les électrons sortent de la résistance. Ils sont à nouveau dans un métal offrant une bonne conductivité électrique. La structure interne de ce métal permet une circulation plus aisée.

Nous pouvons à la suite de cette comparaison établir une définition de la résistance électrique basée sur la structure interne du matériau utilisé.

Une résistance est un élément formé d'un matériau qui possède une résistivité électrique forte. Cet élément inséré dans un circuit rend la circulation du courant plus difficile.

Toutes sortes de résistances

Les résistances électriques sont utilisées dans plusieurs applications concrètes. De plus, elles se retrouvent sous différentes formes.

1. **Les résistances des appareils électroniques** (par exemple dans les appareils de radio ou de télévision). Elles sont généralement cylindriques et fabriquées avec du graphite (matériau très résistif).

2. **Les éléments chauffants et les ampoules**. Il s'agit d'un filament formé d'un métal faiblement conducteur et produisant une certaine luminosité (par exemple le tungstène).

3. **Les autres formes de résistances**. On range dans cette catégorie plusieurs types de résistances, par exemple, les fusibles. L'élément est alors formé d'un matériau pouvant s'échauffer fortement et même fondre si le courant qui le traverse excède une valeur limite.

En soudage, on rencontre aussi des résistances électriques. L'arc lui-même joue le rôle d'une résistance. Cela peut te paraître étrange puisque l'espace de l'arc ne contient pas de métal. Cependant, il y a une explication... elle t'a été présentée au cahier 4.

Réponse à une question bien spéciale!

Au début du présent cahier, nous t'avons posé une question bien particulière. Tu sais qu'un trou dans une conduite d'eau provoque une fuite. L'eau s'écoule vers l'extérieur du tuyau. Pourquoi un phénomène semblable ne se produit-il pas lorsqu'on coupe un fil électrique?

Tu devrais avoir été en mesure de répondre à cette question surtout après la lecture du module d'approfondissement 1. Tout d'abord, il faut préciser que les particules qui constituent le courant électrique ne sont qu'une infime partie de la matière du fil électrique. Rappelle-toi ce que nous avons vu sur la structure interne d'un métal. Le courant électrique est formé par quelques électrons libérés des atomes. Les atomes ne se déplacent pas. Il en est de même pour les électrons non libérés.

On peut comparer ce phénomène à de minuscules poussières éparpillées dans un courant d'eau. Ces poussières forment une très faible partie de la masse de l'eau. Elles se maintiennent en suspension mais n'ont pas la possibilité de sortir de l'eau par elles-mêmes. Encore ici, ce dernier comportement nous fait penser à celui des électrons. Les électrons sont enfermés dans un fil métallique ou dans une plaque de métal et ne peuvent en sortir par leurs propres moyens.

Si l'on veut provoquer un courant électrique à l'extérieur du métal, il faut alors forcer les électrons de façon à les extraire de leur milieu naturel. C'est d'ailleurs ce qui se produit au niveau d'un arc électrique en soudage. Le courant circule alors dans l'air entre l'électrode et la pièce. Plusieurs conditions doivent cependant être respectées. Le cahier traitant de l'arc développait cette matière.

MODULE D'ACQUISITION 3

LA RÉSISTANCE ET LA CHALEUR

Parmi les utilisations multiples de l'électricité, le chauffage des maisons et l'opération des cuisinières électriques prennent une place d'importance majeure pour tous les gens. En ce qui te concerne, tu sais très bien que l'arc électrique dégage beaucoup de chaleur. Le lien entre le courant électrique et la chaleur semble donc important. Ce module te propose d'étudier pourquoi un conducteur s'échauffe sous l'action d'un courant électrique.

La température et la chaleur

Il arrive souvent que les gens conçoivent la température et la chaleur comme une même chose. Ils pensent que plus la température est élevée, plus il y a de chaleur et que plus la température est basse, plus il y a de froid. Cette conception peut être illustrée par un exemple. Si tu introduis dans une casserole d'eau bouillante un petit récipient contenant de l'eau très froide, que se passe-t-il ? Des gens diront que la chaleur va de la casserole vers le récipient et chauffe ce dernier. De plus, le froid partirait du récipient et irait refroidir l'eau de la casserole.

Pense à un dernier exemple, celui du réfrigérateur. Lorsque son moteur fonctionne, le grillage situé à l'arrière de l'appareil devient chaud. Au même moment, l'intérieur devient plus froid. Est-ce que le système de refroidissement pourrait créer du froid ? Tu devines que non. Le système en question aurait plutôt enlevé de la chaleur à l'intérieur du réfrigérateur pour la transporter dans le grillage à l'extérieur.

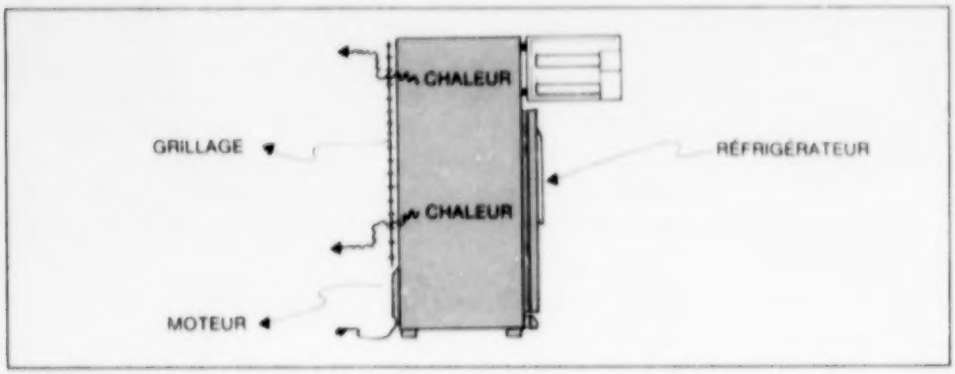


Figure 21

Le même principe permet de concevoir les pompes à chaleur, ces appareils utilisés pour chauffer les maisons. La chaleur extraite de l'air froid du dehors est déposée dans la maison. Ainsi, même par temps froid, l'air contient encore de la chaleur. La sensation de froid que nous éprouvons en touchant un objet froid provient de la différence de température entre notre corps et l'objet et non de la présence de froid dans l'objet.

Les scientifiques ont découvert que plus un objet est froid, moins il contient de chaleur. Il y a cependant une limite. La température la plus froide qui puisse exister dans l'univers est appelée le **zéro absolu.** À cette température, les objets ne contiennent plus aucune chaleur. Ce zéro absolu correspond à -273 degrés celsius.

Tous les corps contiennent de la chaleur en quantité variable selon qu'ils sont chauds ou froids. L'introduction de chaleur dans un objet produit une élévation de sa température.

La nature de la chaleur

En fait, la chaleur est une forme d'énergie. Pour comprendre cette notion, il faut revenir aux explications concernant les atomes. Tu peux relire, si tu le veux, le module d'introduction de ce cahier. Tu devrais avoir appris que toute matière est formée d'atomes très petits et très nombreux.

Imagine l'intérieur d'un bloc de matière comme la boîte illustrée à la figure 22. De façon à bien représenter les caractéristiques de la structure interne du bloc, il faut que cette boîte présente les éléments suivants. Les billes contenues dans cette boîte ne se touchent pas. Les espaces visibles entre celles-ci doivent rester intacts. Enfin, des ressorts sont disposés entre chacune de ces billes de façon à ce que le montage reste bien en place. Celui-ci permet donc une certaine liberté de mouvement. La bille peut bouger mais n'entre pas en contact avec une bille voisine. Cette illustration semble respecter tout ce que tu as vu jusqu'à maintenant au sujet de la matière (modules précédents).

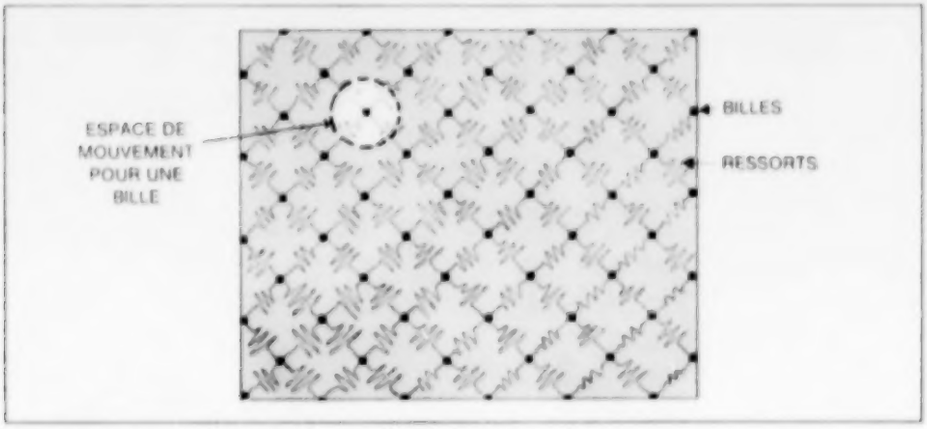


Figure 22

Imagine un instant qu'une bille se mette à vibrer dans un espace comme celui précisé dans la figure 22. Ce principe de vibration représente bien ce qui se produit dans la structure atomique d'un matériau. En effet, il existe des forces entre les atomes qui agissent de manière à garder un atome dans son

site. Qu'arrive-t-il alors aux autres atomes qui ne vibrent pas? Si tu penses que la vibration initiale d'un atome aura un impact sur les autres atomes, tu as parfaitement raison. Le phénomène entraîné se résume dans les trois énoncés suivants.

1. Un atome ne peut vibrer seul longtemps.
2. Les forces existant entre les atomes provoquent un transfert de mouvement aux atomes voisins.
3. Après un certain temps, tous les atomes vibrent faiblement avec la même amplitude. L'énergie de vibration s'est répartie dans tout le bloc de matière.

Des scientifiques ont observé que **toute matière subissant une élévation de température respecte le phénomène que nous venons de te décrire**. Par exemple, l'extrémité d'une pièce de métal que tu soumets à une source de chaleur provoque obligatoirement la vibration des atomes de cette région de la pièce. Puis le mouvement de vibration se transmet d'un bout à l'autre de cette pièce. On dit que la pièce s'échauffe. En résumé, tu es maintenant capable de définir ce qu'est la chaleur.

La chaleur, c'est l'énergie de vibration associée aux atomes d'un bloc de matière. Plus cette vibration est grande, plus il y a de chaleur dans le bloc et, par conséquent, plus sa température est élevée.

La résistance électrique et la chaleur

Puisque la vibration des atomes d'un matériau indique la présence de chaleur, comment provoquer cette vibration? Tu peux facilement répondre à cette question puisqu'il suffit de chauffer une résistance pour y introduire de la chaleur et donc provoquer la vibration des atomes autour de leur site. Tu devrais savoir également que le passage d'un courant électrique dans une résistance est un des moyens possibles pour chauffer celle-ci. Les éléments chauffants fonctionnent d'après ce principe. Cela t'a déjà été présenté dans le cahier 2. Cependant, le cahier dans lequel tu travailles maintenant vise à préciser tes connaissances sur le sujet.

Le module d'acquisition 2 t'a d'abord exposé l'origine de la résistance électrique. Voici quelques notions à te rappeler.

Rappel: 1. **Le métal qui compose une résistance possède une résistivité électrique plus ou moins forte.**
2. **Comme il s'agit d'un métal, des électrons ont été libérés par ses atomes.**
3. **Ce sont les électrons libres qui sont responsables de la conductivité électrique d'un métal.**
4. **La tension de la source de courant force les électrons à circuler parmi les atomes.**

Comme les électrons acquièrent une certaine vitesse à cause de la tension, il est donc plus favorable que des chocs se produisent entre ces électrons en mouvement et les atomes fixes. Les chocs provoquent ainsi de légers déplacements des atomes qui se mettent à vibrer dans leurs espaces réservés. Le mouvement de vibration se produit dans tous les sens à cause des forces provenant de plusieurs autres atomes à la fois. Les électrons qui seront entrés en collision perdront un peu d'énergie qu'ils retrouveront par la suite sous l'effet de la tension. Le processus se répétera tout au long du conducteur.

Ainsi tous les atomes du métal entrent en vibration à cause du courant électrique qui le traverse. La vibration des atomes représentant de la chaleur, le courant électrique échauffe donc le métal. À quel point le chauffera-t-il ? Cela dépend de sa résistivité. Plus un métal offre une résistivité électrique élevée (ou une conductivité électrique faible), plus le métal devient chaud si le courant électrique reste le même.

Tu sais très bien par exemple que les éléments d'une chaufferette électrique s'échauffent davantage que les fils qui lui apportent le courant. Les éléments chauffants sont fabriqués avec un métal beaucoup plus résistif que celui des fils.

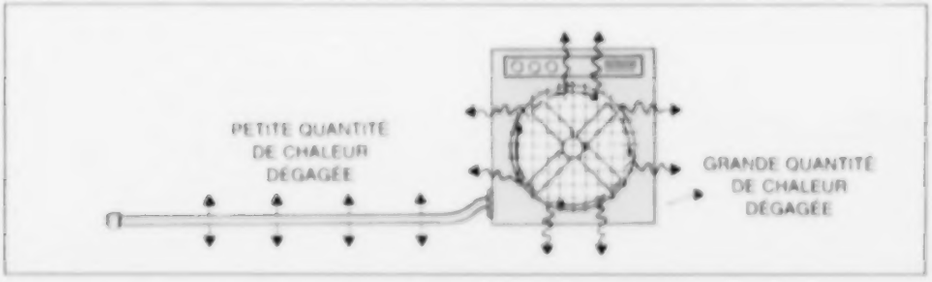


Figure 23: Dégagement de chaleur dans une chaufferette.

Le courant électrique crée de la chaleur dans un conducteur. Ce dernier devient chaud aussi longtemps que le courant le traverse.

La température atteinte par le conducteur dépend fortement de sa résistivité.

La création de la chaleur par le courant électrique est un phénomène important appelé *l'EFFET JOULE*.

Comment mesurer la quantité de chaleur ?

L'analyse que tu viens d'effectuer avec nous conduit à une question fondamentale. Comment peut-on évaluer la quantité de chaleur dégagée par un courant électrique ? Cette évaluation peut servir la cause de certains procédés de

soudage comme c'est le cas du soudage électrique par résistance. Tu auras l'occasion de voir ce que nous voulons dire dans le module de complément à la fin du cahier. La mise au point des nombreuses techniques de soudage utilisées dans l'industrie repose souvent sur la compréhension et l'application de principes scientifiques comparables à celui que nous abordons ici.

Rappelle-toi tout d'abord le cahier 2 où les notions de puissance et de résistance t'ont été présentées. Deux formules mathématiques permettaient de calculer les valeurs rattachées à ces notions. Dans un premier temps, la puissance électrique exprimée en volts dépendait de la tension V et de l'intensité du courant I.

$$P = VI$$

Dans un deuxième temps, la loi d'Ohm exprimait la tension aux bornes d'une résistance R en fonction de l'intensité du courant I.

$$V = RI$$

Comme tu as pu déjà le constater, c'est le courant qui est à l'origine de la chaleur. Par conséquent, essayons d'exprimer ce dégagement de chaleur en terme de puissance et en fonction d'un courant I. Pour ce faire, combinons les deux relations écrites ci-haut. Insérons la valeur de V de la deuxième formule (RI) dans la première formule. On obtient une valeur pour P en fonction de R et de I.

$$P = RI^2$$

P = puissance en watts
V = résistance en ohms
I = intensité en ampères

La quantité de chaleur dégagée par un courant dans une résistance est égale à P en watts. Souviens-toi que nous pouvons exprimer la quantité de chaleur de cette façon. Ainsi on peut dire qu'une ampoule de 100W développe une puissance électrique de 100 watts ou dégage une quantité de chaleur de 100 watts.

Si tu examines la relation ci-haut, tu constates que la puissance P augmente si R augmente (à condition que I demeure constant). Cette valeur de P augmente également si I augmente (avec R constant).

Il faut cependant que tu notes un point important. Le changement de P avec une variation de I sera beaucoup plus imposant que celui avec une variation de R, car la valeur I apparaît avec l'exposant deux.

En d'autres mots, si la résistance double, tu peux voir que la puissance double. Cependant, si le courant double, la puissance quadruple. Cette constatation te permet de faire à nouveau le lien entre la quantité de chaleur dissipée et l'intensité de courant.

De la même façon, tu peux te rappeler le module de complément 2 du troisième cahier où on parlait de la caractéristique plongeante d'une source de courant et du facteur de marche. Ce facteur diminue rapidement lorsque le courant augmente. La raison peut devenir ici plus évidente pour toi. La puissance dissipée en chaleur dans le transformateur croît très vite avec le courant élevé de façon à éviter une surchauffe de l'appareil.

- *Quelle différence y a-t-il entre chaleur et température ?*
- *Lorsqu'une pièce de métal est sous l'influence d'une source de chaleur, que se produit-il au niveau de la structure interne de cette pièce ?*
- *Comment peut-on calculer la quantité de chaleur dégagée par un conducteur électrique ?*

SAVAIS-TU QUE...

J.P. JOULE ÉNONÇA EN 1841 LES LOIS SUR LE DÉGAGEMENT DE CHALEUR PRODUIT PAR LE PASSAGE D'UN COURANT ÉLECTRIQUE DANS UN CONDUCTEUR. L'EXPRESSION "EFFET JOULE" FUT RETENUE EN SON HONNEUR.

FICHE DE SYNTHÈSE

La structure interne d'un matériau

Une toute petite partie d'un bloc de matériau contient à elle seule un nombre considérable de particules appelées **atomes**. Ces derniers contiennent à leur tour un noyau et d'autres particules encore plus petites. On les appelle **électrons**.

La conductivité électrique

Les électrons libres dans un métal sont les éléments qui véhiculent le courant électrique. C'est la tension générée par la source qui pousse les électrons à circuler.

Les isolants et les conducteurs

Comme un non-métal ne possède pas d'atomes pouvant libérer les électrons, il ne conduit pas l'électricité. C'est pourquoi tous les matéraux entrant dans cette classe sont appelés **isolants électriques** contrairement aux métaux qui, eux, sont appelés **conducteurs électriques.**

La résistivité électrique

Tous les métaux conduisent l'électricité à des niveaux différents. Les électrons en mouvement dans la structure du bloc de métal doivent contourner les atomes qui forment ce bloc. Comme chaque métal présente une structure interne spécifique, il offre donc un degré de résistivité propre.

Les résistances électriques

Il existe des métaux qui, tout en permettant la conduction de l'électricité, offrent tout de même une résistivité électrique. Le courant passe difficilement dans un tel métal. Ces métaux servent à fabriquer ce qu'on appelle des résistances électriques. On en retrouve plusieurs dans les appareils électriques comme la radio. La conséquence importante engendrée par l'utilisation d'une telle résistance est une chute de tension dans le circuit.

La nature de la chaleur

C'est une énergie de vibration associée aux atomes d'un bloc de matière. Plus cette vibration est importante, plus il y a de chaleur dans le bloc et plus sa température est élevée.

La chaleur dégagée

La quantité de chaleur dégagée par un bloc de matière soumis à un courant électrique se calcule de la façon suivante. Il tient d'abord compte de la résistance du bloc. Celle-ci dépend de la résistivité de la matière qui le compose. Il tient ensuite compte de l'intensité du courant qui le parcourt. La quantité de chaleur calculée s'exprime en watts.

$$P = RI^2$$

SAVAIS-TU QUE...

LES VALEURS MAXIMALES D'INTENSITÉ DE COURANT PERMETTENT LE CHOIX DE CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES ADÉQUATS. IL FAUT TOUJOURS ÊTRE CONSCIENT DES VALEURS LIMITES COMME L'INDIQUE LE TABLEAU SUIVANT.

EXEMPLES D'UTILISATION DES FILS SELON LEUR GROSSEUR POUR LES CORDONS FLEXIBLES ET LES FILS DE RACCORDEMENT

NO DU FIL (AWG *)	COURANT MAXIMAL PERMIS (AMPÈRES)
18	7
16	10
14	15
12	20
10	30
8	40

* AWG: AMERICAN WIRE GAGE

FICHE D'ÉVALUATION

1. En ce qui a trait au courant électrique, de quelle façon classifie-t-on les matériaux ?
   a) Les métaux de base et les métaux d'apport.
   b) Les matériaux lourds et les matériaux légers.
   c) Les conducteurs et les isolants.

2. Quelle est la caractéristique principale d'un électron dans un métal ?
   a) Il peut être libéré en tout temps par chaque atome.
   b) Il peut sauter d'un atome à un autre atome voisin.
   c) Il peut être libéré par un atome s'il y a une tension d'appliquée.

3. Comment les électrons libres se comportent-ils dans un bloc de métal ?
   a) Ils sont constamment en mouvement.
   b) Ils se déplacent à la surface du bloc de métal.
   c) Ils sont en mouvement seulement si une tension existe entre les deux extrémités du bloc.

4. Laquelle des caractéristiques suivantes correspond le mieux au courant électrique ?
   a) Tous les électrons des atomes participent au courant.
   b) Seuls les électrons libérés par chaque atome participent au courant.
   c) L'énergie électrique se transmet d'un électron à l'autre tout au long du fil.

5. Quelle est la cause de la résistivité électrique d'un métal ?
   a) Les chocs incessants entre les électrons et les atomes.
   b) La difficulté qu'ont les électrons de se détacher de leurs atomes.
   c) Le manque d'espace disponible aux électrons.

6. Pourquoi dit-on qu'un objet est froid ?
   a) Parce qu'il y a plus de froid que de chaud dans l'objet.
   b) Parce qu'il contient moins de chaleur qu'un objet chaud.
   c) Parce qu'il n'y a pas de chaleur dans l'objet.

7. Un conducteur électrique s'échauffe sous l'effet d'un courant électrique. Quelle en est la raison principale ?
   a) Les électrons du courant deviennent chauds.
   b) Les atomes du métal se bousculent entre eux.
   c) Les électrons du courant provoquent la vibration des atomes suite aux chocs avec ces atomes.

8. De quelle façon se déplacent les électrons dans les non-métaux ?
   a) Plus lentement que dans les métaux.
   b) Ne se déplacent pas du tout.
   c) Se déplacent rapidement seulement si le courant est élevé.

9. La pièce à souder offre une certaine résistance électrique lors du soudage. Quelle peut être sa valeur par rapport à celle offerte par l'arc ?
   a) Elle peut parfois modifier les conditions de soudage au niveau de l'arc.
   b) Elle peut être négligée, car elle est beaucoup plus faible que celle de l'arc.
   c) Elle est toujours élevée de sorte qu'il faut la considérer.

10. Pourquoi le cuivre est-il un meilleur conducteur électrique que le fer ?
    a) Parce qu'une tige de cuivre contient plus d'électrons qu'une tige de fer.
    b) Parce que le cuivre offre une résistivité plus grande que le fer.
    c) Parce qu'une tige de cuivre présente une structure atomique moins serrée.

MODULE DE COMPLÉMENT 1

LES ALLIAGES

Les grains dans un métal

L'examen général d'un bloc de métal poli montre une surface continue, bien lisse. Une étude plus détaillée t'a déjà appris que ce métal est composé de particules extrêmement petites, les atomes. Cependant, il y a un niveau où tu peux observer quelque chose d'assez particulier et qui se situe à peu près entre les deux extrêmes que nous venons de te présenter. En effet, l'agrandissement d'une surface métallique à l'aide d'un microscope révèle une structure en petits domaines regroupés. Ils sont tous empilés et collés les uns aux autres. On les appelle les **grains**.

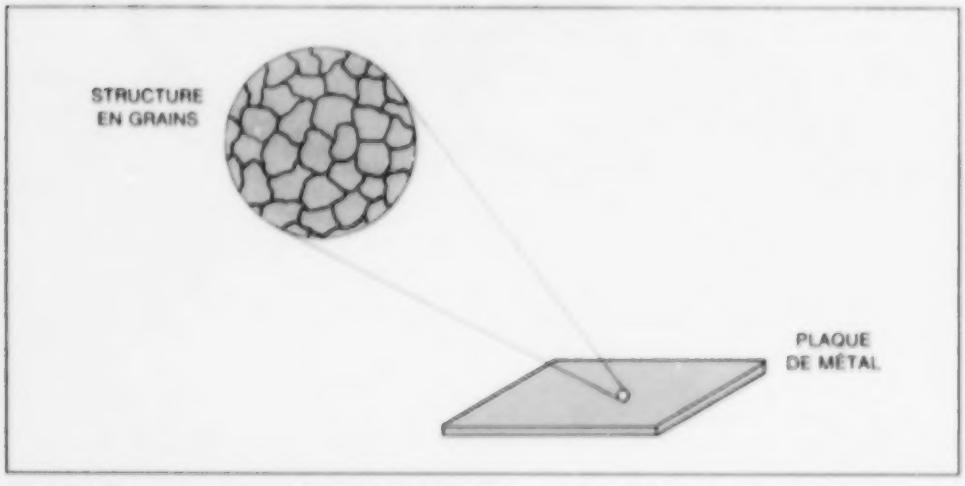


Figure 24 : Observation de la structure en grains d'un point de matériau.

L'examen au microscope montre que les grains ont des dimensions variées. Cette dimension de grains dépend de certains facteurs dont le procédé utilisé pour extraire le métal et le mode de refroidissement mis en oeuvre. Le traitement thermique d'un métal modifie donc ses propriétés. L'occasion d'étudier plus à fond ce sujet t'est donnée dans les cahiers traitant de métallurgie. Limitons-nous dans ce module à ce qui suit. En quoi cette structure en forme de grains influence-t-elle la résistivité électrique des matériaux ?

Structure d'un grain

Concentre-toi d'abord avec nous sur la description d'un seul grain. Même si ce grain est très petit, il contient encore des millions d'atomes. En effet, comme tu le sais, les atomes sont minuscules et ne sont même pas observables à l'aide d'un microscope comme c'est possible de le faire avec les grains. Ainsi, les atomes sont beaucoup plus petits que les grains.

À l'intérieur d'un grain, on retrouve une structure. Les atomes ne sont pas disposés au hasard dans ce grain comme des cailloux dans un sac. Il y a une disposition bien spéciale. Les atomes occupent des **positions ordonnées**. Afin de comprendre cette idée, observe la figure 25. Des boules et des baguettes ont été assemblées d'une façon précise. Dis-toi que ce montage peut être comparé à un grain de métal.

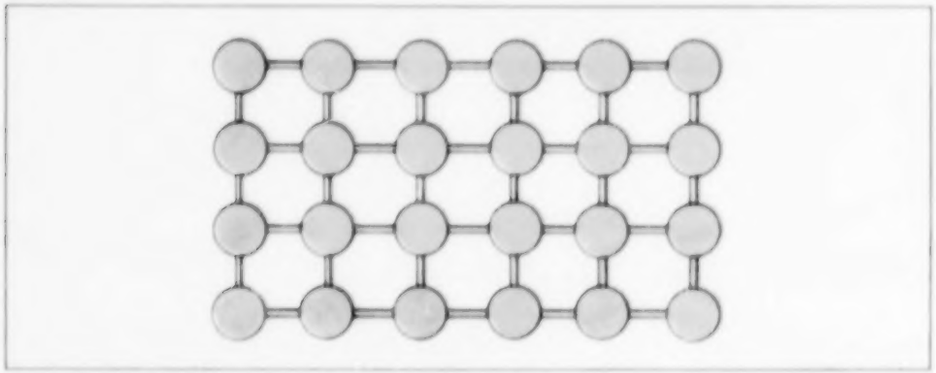


Figure 25 : Partie d'un grain de métal.

Comme tu peux le voir, les atomes se présentent en rangées horizontales et verticales. Cela ressemble à un grillage. C'est la raison pour laquelle nous disons que les atomes sont ordonnés.

Structure de plusieurs grains

Connaissant la structure d'un seul grain, de quelle façon seront associés tous les grains ensemble ? Comment la structure se présente-t-elle au joint entre les grains ? Prenons trois grains et examinons la situation.

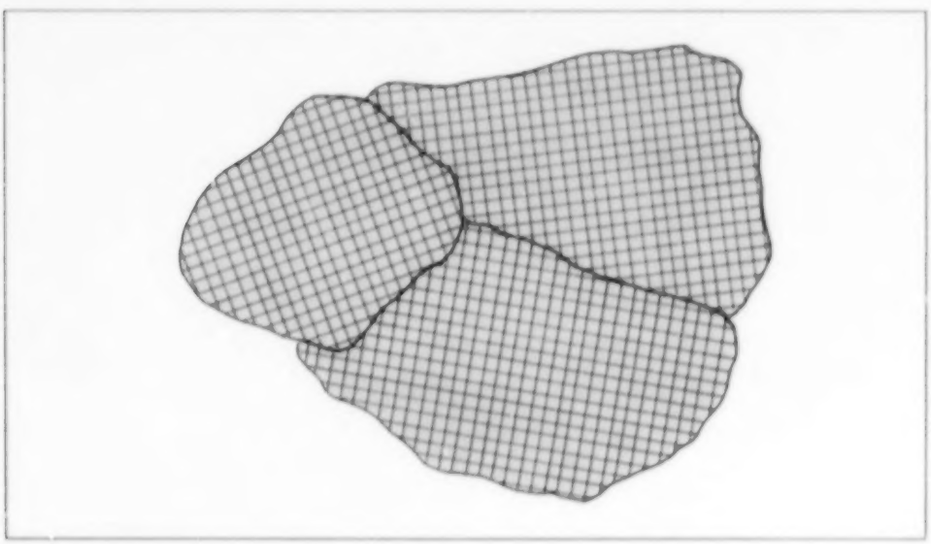


Figure 26 : Structure de trois grains d'un métal.

Tu as vu à la figure 25 qu'un atome est présent à chaque intersection de ligne du grillage. D'après la figure 26, tu peux deviner qu'une brisure dans une rangée d'atomes se produit à chaque joint entre les grains. Ce qu'il faut que tu comprennes ici, c'est que les atomes localisés dans une brisure ne se comportent pas de la même façon que ceux situés à l'intérieur d'un grain. **Les propriétés d'un métal peuvent donc changer**. Cela dépendrait de la grosseur des grains et de leur disposition. En d'autres mots, la façon selon laquelle les grains adhèrent entre eux influence les propriétés de ce matériau.

Abordons à nouveau une des ces propriétés, celle qui nous intéresse dans ce cahier, soit la résistivité électrique. Étudions le cas d'un métal pur et celui d'un alliage. C'est en observant la structure en forme de grains de ces deux matériaux que tu pourras comprendre la différence de résistivité électrique les concernant.

La résistivité électrique dans un métal pur

La structure interne d'un grain de métal pur est organisée de façon parfaite. Les atomes occupent des sites bien alignés comme le montre la figure 25. Lorsqu'un courant électrique parcourt ce métal, tu sais que chaque atome libère un électron. Ces électrons se promènent dans les chemins entre les rangées d'atomes. Ils subissent parfois des collisions avec les atomes. C'est d'ailleurs ce phénomène qui est la cause de la résistivité du métal.

Cependant, on constate que ces collisions sont de deux types. Il y a celles qui se produisent à l'intérieur d'un grain et celles qui apparaissent aux joints entre les grains. Évidemment, la grosseur des grains et la qualité des liens influencent la valeur de la résistivité. D'autres facteurs peuvent également influencer cette valeur. Un traitement thermique, comme la trempe du métal, peut modifier la résistivité. Cela peut te faire penser à la température d'une pièce de métal. Si tu as bien compris ce qui t'a été expliqué au début de ce module, tu devrais saisir que la présence de chaleur augmente la résistivité. En effet, comme la chaleur se traduit par une vibration des atomes autour de leur site, cela augmente l'intensité des collisions des électrons. En résumé, la résistivité électrique d'un métal change selon les conditions qui lui sont imposées.

La valeur de la résistivité électrique d'un métal pur augmente avec la température. Cette dernière est influencée par les traitements imposés au métal.

métal	20° C	60°C	100°C
Cuivre	1,72	2,02	2,28
Aluminium	2,83	3,31	3,86
Fer	10,00	13,23	16,61

Figure 27 : Tableau de la résistivité (x 10^{-4} ohm · cm) en fonction de la température pour 3 métaux.

Qu'est-ce qu'un alliage ?

Pour obtenir un alliage, il suffit de mélanger plusieurs types de métaux purs. Par exemple, c'est en mélangeant du cuivre et de l'étain qu'on obtient du bronze et c'est en mélangeant du fer et du carbone qu'on obtient un acier. Le cuivre, l'étain, le fer et le carbone sont des métaux purs qu'on retrouve dans la nature sous une forme quelconque. Le bronze et l'acier sont deux alliages fabriqués à partir de ces métaux. Il arrive que le nom de l'alliage change selon la proportion d'un élément par rapport à l'autre élément.

BRONZE	**CUIVRE** **de 80 % à 95 %**	**ÉTAIN** **de 5 % à 20 %**
ACIER	**FER** **de 98,50 % à 99,95 %**	**CARBONE** **de 0,05 % à 1,50 %**

Par exemple, si le carbone mélangé à l'acier atteint des proportions de 2 à 5 %, on a affaire à de la fonte. De plus, divers autres matériaux sont ajoutés en petites quantités pour distinguer les fontes blanche, grise, etc.

Comment visualiser la structure interne d'un tel alliage ? Quelle est la différence dans l'agencement des atomes si on le compare à celui d'un métal pur ? Pour t'aider à répondre à ces questions, examine avec nous le cas de l'eau sucrée. Lorsque tu ajoutes du sucre dans de l'eau, tu sais que les particules de sucre se décomposent. Les molécules de sucre se dissocient les unes des autres et vont s'introduire à travers les molécules d'eau. On obtient une solution d'eau sucrée. Rappelle-toi ici que les molécules sont infiniment petites. Un seul grain de sucre en contient des milliards.

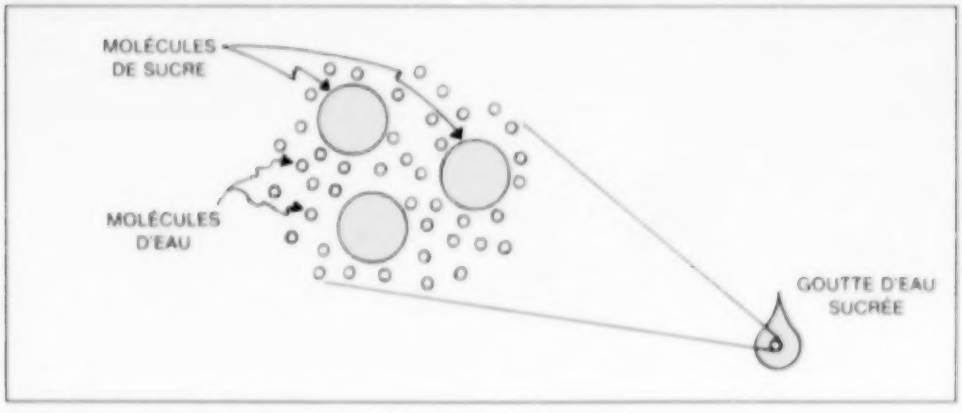


Figure 28 : Molécules d'eau et de sucre

Cependant, l'eau est un liquide; ses molécules ne sont pas ordonnées comme dans un métal. C'est d'ailleurs une des différences fondamentales entre les liquides et les solides. Tu auras l'occasion d'étudier cela plus à fond dans

les cahiers de métallurgie. Cet exemple ne t'est présenté ici que pour comparer le cas d'un alliage à un cas simple que tu connais. Ainsi, on pourrait dire que l'eau sucrée est une sorte « d'alliage d'eau et de sucre » à l'état liquide.

L'alliage métallique montre une structure similaire sauf que les atomes du métal de base sont ordonnés. Prends avec nous l'exemple de l'acier au carbone et regardons la structure atomique de cet acier. De quelle façon les atomes de carbone viennent-ils s'installer parmi les atomes de fer ? Observe la figure 29 qui précise cet arrangement atomique.

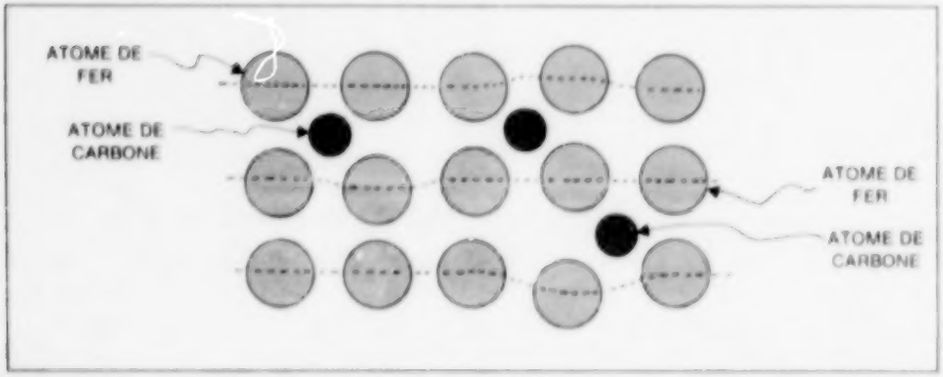


Figure 29 : Arrangement atomique de l'alliage Fe-C

Au départ, il faut que tu saches que les atomes de carbone sont plus petits que les atomes de fer. Ils sont donc capables de se loger entre les rangées d'atomes de fer. Ce phénomène tend à bousculer l'organisation des atomes de fer. Le grillage droit et parfaitement ordonné de la figure 25 se déforme. De la même façon, d'autres atomes étrangers peuvent également apporter le même résultat. Le cas de l'acier au tungstène est un exemple frappant. En effet, l'atome de tungstène a un diamètre plus gros que celui du fer. Les atomes de tungstène auront donc un effet encore plus bouleversant que celui du carbone. Le grillage sera encore plus déformé. On pourrait continuer ainsi les exemples. Cependant, nous te conseillons pour l'instant de retenir l'encadré suivant.

Dans un alliage, la structure atomique d'un grain devient perturbée par la présence d'atomes étrangers.

Comme tu l'as déjà appris, une caractéristique importante d'un matériau, soit la résistivité, est fortement influencée par l'arrangement atomique. Il est donc logique que cette propriété soit différente en passant d'un métal à un alliage.

La résistivité électrique d'un alliage

D'après ce que tu viens d'étudier à l'aide des figures 25 et 29, tu devrais tirer les conclusions suivantes.

À l'intérieur d'un grain, les électrons du courant électrique circulent normalement entre les rangées d'atomes. Mais voilà qu'ils rencontrent des intrus sur leur chemin; ce sont les atomes de l'élément ajouté en vue de former l'alliage. Le nombre de collisions des électrons sur des obstacles est alors augmenté. Plus il y a d'atomes étrangers dissous dans le métal de base, plus ce phénomène de collisions est important. **La résistivité électrique augmente.**

> **La résistivité électrique d'un alliage est plus grande que celle d'un métal pur. La grandeur de cette résistivité dépend de la concentration de l'élément dissous dans le métal de base.**

De façon à visualiser ces conclusions importantes, nous te présentons les deux tableaux suivants. Ils énumèrent les valeurs de résistivité électrique pour le cuivre et le fer à l'état pur puis les valeurs associées à quelques-uns de leurs alliages.

MATÉRIAU	*RÉSISTIVITÉ (micro-ohm·cm)*
CUIVRE PUR	1,72
CUIVRE + manganèse à 0,98 %	4,83
CUIVRE + manganèse à 1,49 %	6,66
CUIVRE + manganèse à 7,40 %	19,7
CUIVRE + manganèse à 15,0 %	50,0

Figure 30 : Tableau de la résistivité du cuivre et de quelques-uns de ses alliages.

MATÉRIAU		*RÉSISTIVITÉ (micro-ohm·cm)*
FER PUR		10
FER + carbone (0,1 %) + nickel	(10 %)	29
FER + carbone (-) + silicium	(4 %)	62
FER + carbone (0,08 %) + chrome	(40 %)	71
FER + carbone (0,09 %) + aluminium	(15 %)	88
FER + carbone (1,1 %) + vanadium	(5 %)	121

Figure 31 : Tableau de la résistivité du fer et de quelques aciers.

Le soudage d'une tige longue

La notion de résistivité électrique peut t'aider à comprendre pourquoi certaines précautions sont parfois prises lors du soudage. Examine avec nous l'application suivante où un soudeur doit travailler sur une longue tige. La soudure à effectuer se situe à son extrémité. La source de courant est branchée à l'électrode et à l'autre extrémité de la tige comme l'indique la figure 32.

Figure 32: Soudage d'une longue tige

Suppose que cette tige mesure trois mètres de longueur et présente un diamètre de 0,5 cm. Elle est composée d'un alliage dont la résistivité s'élève à 100 micro-ohm • cm. Nous te posons maintenant la question suivante. Est-ce que le soudeur doit tenir compte de la résistance induite par la tige et ajuster la tension de la source à une valeur différente de celle qui serait nécessaire si la tige était courte? Si tu réponds oui, tu as raison de penser ainsi. Cependant, il y a un moyen convaincant de prouver que cette réponse est exacte, soit avec des chiffres. De façon à déterminer la tension nécessaire pour une tige longue et une tige courte, il faut introduire une formule qui sert à calculer la valeur de résistance imposée par une tige. La valeur de cette résistance doit tenir compte de sa résistivité, de sa longueur et de sa section.

$$R = \frac{\text{résistivité} \times \text{longueur de la tige}}{\text{section de la tige}}$$

La résistivité vaut 100 micro-ohm • cm ou 0,000100 ohm • cm. La longueur de la tige est de 3 mètres ou 300 cm. Finalement, la section d'une tige vaut $\pi d^2/4$ où d représente le diamètre. On obtient pour la section une valeur de 0,196 cm². Ces valeurs peuvent maintenant être introduites dans l'équation ci-haut.

$$R = \frac{0{,}000100 \text{ ohm} \cdot \text{cm} \times 300 \text{ cm}}{0{,}196 \text{ cm}^2} = 0{,}15 \text{ ohm}$$

Suppose maintenant que l'opération de soudage exige un courant de 200 ampères sous une tension de 20 volts. Quelle tension la source devrait indiquer pour obtenir ce résultat? Sûrement pas 20 volts, car tu sais que la tige entraîne une chute de tension à cause de sa résistance que nous venons de calculer. Mais comment calculer cette chute de tension? À l'aide de la loi d'Ohm.

$$V = RI = 0{,}15 \text{ ohm} \times 200 \text{ ampères} = 30 \text{ volts}$$

Comme la chute de tension tout au long de la tige est de 30 volts, le soudeur devra ajuster sa source à une valeur de 30 volts plus élevée que ce qui est exigé au niveau de l'arc. Ainsi, il devra régler la source à 20 + 30, soit 50 volts. Cet exemple est assez particulier puisque les valeurs sont quelque peu exagérées. Cependant, il t'a été présenté pour te faire comprendre que les branchements éloignés du point de soudage sont à éviter. Une telle précaution envisagée réduit la valeur de la résistance induite par la pièce. Le circuit de soudage peut alors être opéré de manière à négliger cette résistance.

SAVAIS-TU QUE...

LA FABRICATION D'UN ALLIAGE PEUT ÊTRE COMPARÉE À LA CONFECTION D'UN GÂTEAU. DANS CE DERNIER CAS, ON DOIT MÉLANGER DE LA FARINE ET DE L'EAU PUIS CUIRE LE TOUT. L'APPARENCE ET LE GOÛT DU GÂTEAU SERONT VARIABLES SELON LES INGRÉDIENTS (FRUITS, ÉPICES...) QUI AURONT ÉTÉ AJOUTÉS À LA PÂTE. DANS LE CAS DES ALLIAGES, IL Y A ÉGALEMENT MÉLANGE ET CUISSON. MAIS DES MÉTAUX PURS SONT EN CAUSE. LES PROPRIÉTÉS DES ALLIAGES POURRONT AUSSI VARIER SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES MÉTAUX ET AUTRES CORPS AJOUTÉS.

MODULE DE COMPLÉMENT 2

LE SOUDAGE ÉLECTRIQUE PAR RÉSISTANCE

Un des effets de la résistivité

Suite à la lecture des derniers modules, tu devrais maintenant avoir une meilleure idée de ce que l'on entend par résistivité électrique d'un conducteur. Tu devrais te rappeler que les atomes fixes représentent des obstacles sur la route des électrons du courant électrique. Dans ce cas, on dit que les électrons perdent de l'énergie à la suite des collisions avec les atomes. Cette énergie perdue se transforme en chaleur.

Un premier effet induit par la résistivité t'a permis de constater comment la pièce à souder devient une résistance dans ton circuit de soudage. Le module précédent a déjà exposé cette matière.

La création de chaleur par le courant électrique est un effet qui peut être exploité à d'autres fins. Entre autres choses, c'est un phénomène qui a rendu possible le développement de plusieurs procédés de soudage. Ces procédés se regroupent généralement sous le vocable « **soudage électrique par résistance** ».

Nous te proposons dans ce module une étude exploratoire de ces procédés de soudage. Nous nous concentrerons sur le phénomène de chauffage localisé et son rapport avec les notions de ce cahier seulement.

Plusieurs procédés de soudage

Lorsque de grosses pièces métalliques doivent être réunies par soudage, l'arc électrique se présente souvent comme le procédé le plus adapté. C'est le cas sur les chantiers de construction. Les poutres et les colonnes d'acier sont ainsi soudées. Cependant, dans la réalisation des joints entre des tôles, l'industrie utilise fréquemment d'autres procédés. Ces procédés font partie de la catégorie plus générale de techniques de soudage qui exploitent le phénomène de la résistivité électrique. Cette catégorie est appelée « Soudage électrique par résistance ». La figure 33 présente un tableau contenant les divers procédés qui y sont rattachés.

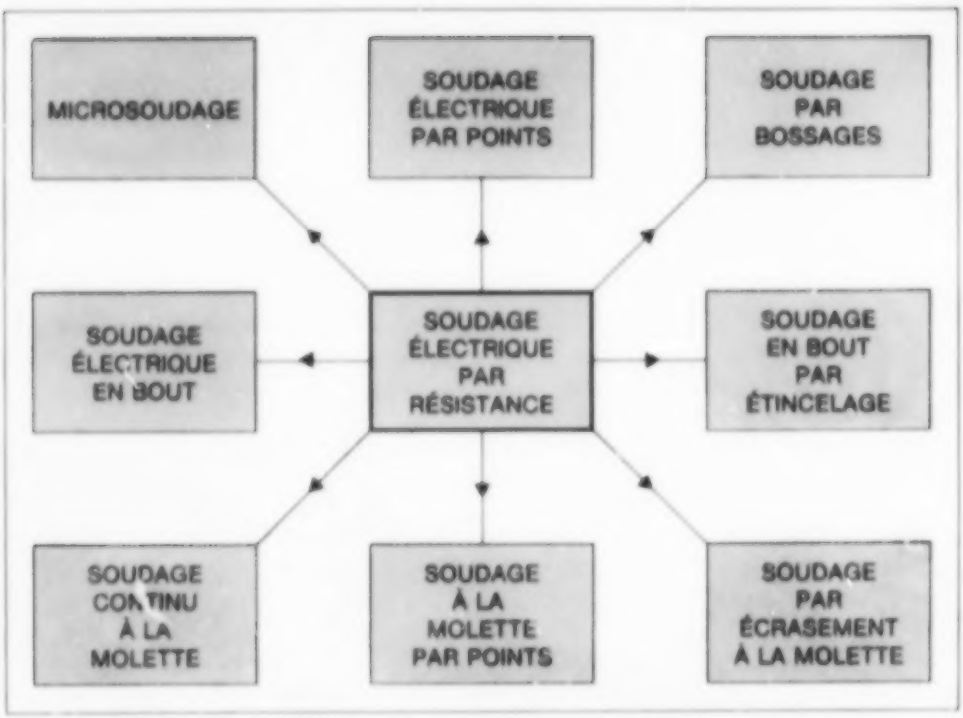


Figure 33 : Procédés de soudage électrique par résistance.

Principe général du soudage par résistance

Le montage employé pour réaliser une soudure par résistance peut se résumer à ce qui suit. Il comporte deux électrodes situées de part et d'autre des pièces à souder. Ces électrodes sont branchées à une source qui fournit un courant électrique très élevé durant un temps très court. Examine la figure 34.

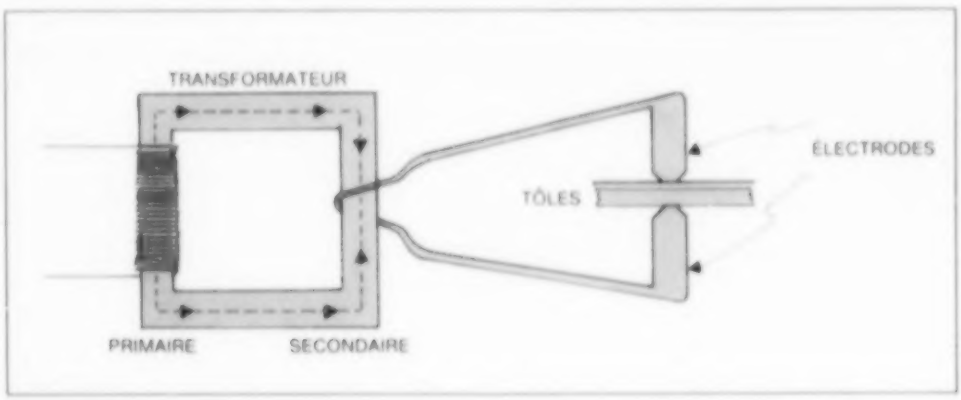


Figure 34

Ce schéma illustre comment fonctionne une machine de soudage par points, l'un des huit sous-procédés énumérés dans la figure 33. Remarque que les deux tôles sont serrées au moyen des deux électrodes. Le circuit de ces électrodes rejoint la partie droite du transformateur sur le schéma. En réalité, il forme le « secondaire » de ce transformateur. Un point important à observer est que ce circuit ne fait qu'un seul tour sur l'armature du noyau. Il ne présente qu'une seule spire. C'est habituellement le cas même si on rencontre parfois deux spires.

Le primaire du transformateur est formé d'un enroulement de fils d'au moins une centaine de tours. Il génère un champ magnétique dans l'armature. Ce champ magnétique traverse la spire du secondaire et y induit un courant électrique. Ce courant est modifié. C'est une des fonctions principales d'un transformateur. Tu peux retourner au cahier 3 si jamais ces notions sont encore confuses. Le module de prolongement 1 traitait cette matière.

Tu devrais connaître la loi des transformateurs. C'est une autre notion qui a été traitée dans le cahier 3. Elle tient compte du nombre d'enroulements des circuits primaire et secondaire. D'après cette loi, l'intensité de courant du secondaire s'exprime de la façon suivante.

$$\text{intensité au secondaire} = \text{intensité au primaire} \times \frac{\text{nombre de tours au prim.}}{\text{nombre de tours au sec.}}$$

Il est facile de remarquer que l'intensité de courant fournie au secondaire sera très élevée. Tu n'a qu'à penser au nombre d'enroulements au primaire qui est beaucoup plus élevé que celui au secondaire. On a déjà dit que ce dernier ne possédait qu'une ou deux spires. Cependant, un exemple concret serait le bienvenu pour rendre ces affirmations plus convaincantes.

Un exemple

Supposons qu'un poste de soudage électrique par points est alimenté par une source ajustée à 200 ampères. Le montage présente un transformateur avec les circuits primaire et secondaire suivants. La bobine primaire contient 100 spires et la bobine secondaire contient 1 enroulement. Quelle sera l'intensité de courant fournie aux tôles à souder ?

Les tôles à souder sont reliées au secondaire. Par la formule présentée plus haut, on peut calculer l'intensité au secondaire.

$$\text{intensité au secondaire} = 200 \times \frac{100}{1} = 20\,000 \text{ ampères}$$

Ce montage permet donc d'obtenir un courant très élevé au niveau des pièces à souder par l'entremise des électrodes. Pour les machines utilisées en industrie, on note que les valeurs de courant peuvent aller de 10 000 à 50 000 ampères. Pour de tels courants, il est entendu que la chaleur générée sera également importante. En effet, la chaleur dégagée entre les deux électrodes s'élève suffisamment pour provoquer à elle seule le soudage des pièces.

Calculons la quantité de chaleur dégagée par un tel courant pour une tôle bien précise. Tu as déjà eu l'occasion de faire un calcul de ce genre dans le module d'acquisition 3. La formule utilisée exprimait cette quantité de chaleur en watts et s'écrivait $P = RI^2$. Supposons une tôle avec une résistance de 0,0004 ohm, valeur très faible mais s'approchant de la réalité.

$$P = RI^2 = 0{,}0004 \times (20\,000)^2 = 160\,000 \text{ watts}$$

La valeur de puissance obtenue est imposante. Les tôles subissent un échauffement considérable sous l'effet d'une telle quantité de chaleur. Cependant, cette pleine puissance ne dure qu'une fraction de seconde. Elle est tout de même suffisante pour provoquer la fusion localisée et temporaire nécessaire au soudage. Le procédé est très rapide. Il permet la création de joints en série, méthode qui convient bien à la production en chaîne de divers objets.

Tous les procédés évoqués dans le tableau de la figure 33 agissent selon le même principe. L'idée générale qui est à la base de tous ces procédés t'a été présentée. Le but de ce module était surtout de te faire prendre conscience de l'importance du phénomène de résistivité électrique dans certaines applications.

SAVAIS-TU QUE...

LE SOUDAGE ÉLECTRIQUE PAR RÉSISTANCE MET EN OEUVRE L'EFFET JOULE MAIS AUSSI L'ÉNERGIE MÉCANIQUE. EN EFFET, L'EFFORT APPLIQUÉ DURANT LE SOUDAGE PROVOQUE UN EFFET DE FORGEAGE. LA FORME OU LA QUALITÉ DU MÉTAL PEUVENT AINSI ÊTRE MODIFIÉES.

MODULE D'EXERCICES

1. Un étudiant a une idée pour faire comprendre la nature d'un métal. Son idée consiste à comparer un bloc de métal à un terrain de baseball où sont éparpillés un grand nombre de joueurs en train de se lancer la balle. Plusieurs balles sont utilisées entre autant de paires de joueurs. Ainsi, on voit constamment passer des balles dans les airs entre les joueurs. L'étudiant compare les joueurs aux atomes et les balles aux électrons. Est-ce que sa comparaison est valable ? Explique ta réponse.

2. Ton professeur te demande dans un examen de développer une nouvelle comparaison devant servi à faire comprendre ce qu'est le courant électrique. Après réflexion, tu énonces la comparaison suivante. Un groupe d'enfants veulent se passer des rondelles de hockey sur une patinoire en forme d'anneau. À un certain endroit de l'anneau, un enfant possédant une boîte de rondelles de hockey commence le processus. Il lance des rondelles sans arrêt à son voisin toujours dans le même sens. Tu décides de comparer l'anneau de glace à un fil conducteur, les enfants aux atomes et les rondelles aux électrons libres. Comme la patinoire a la forme d'un anneau fermé, tu te dis que le circuit est fermé comme il se doit. D'après toi, est-ce que ton professeur te donnera tous les points pour cette comparaison. Justifie ta réponse.

3. Un professeur a développé une comparaison imagée pour faciliter la compréhension du phénomène de la résistivité dans les conducteurs. Observe la figure 35.

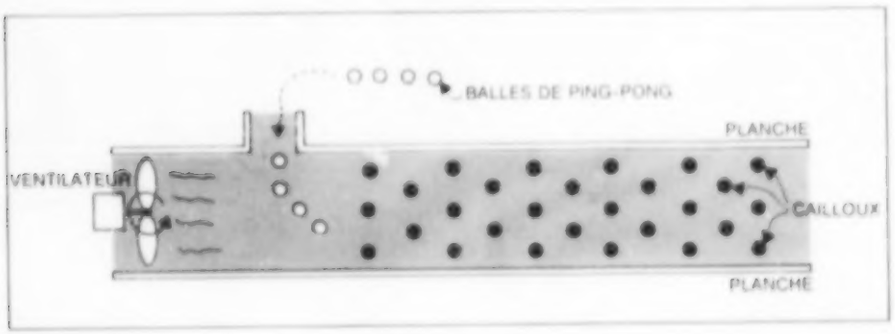


Figure 35

Entre deux planches, on dépose des cailloux d'une façon homogène. À gauche se trouve un ventilateur en marche. Quelqu'un fait alors entrer de façon continue des balles de ping-pong entre ce ventilateur et les cailloux. Les balles sont ainsi emportées par le vent entre les cailloux.

a) Est-ce que la situation imaginée par ton professeur peut illustrer correctement la notion de résistivité ? Explique ta réponse.

b) Qu'arrive-t-il si les cailloux sont plus gros ?

4. Un courant de 50 ampères circule à travers une résistance de 0,1 ohm. Quelle est la puissance électrique transformée en chaleur dans la résistance ?

5. Soit une pièce en acier au silicium dont la résistivité vaut 62 micro-ohm•cm. La pièce a la forme d'un U de 15 mètres de longueur. Les dimensions transversales sont données à la figure 36.

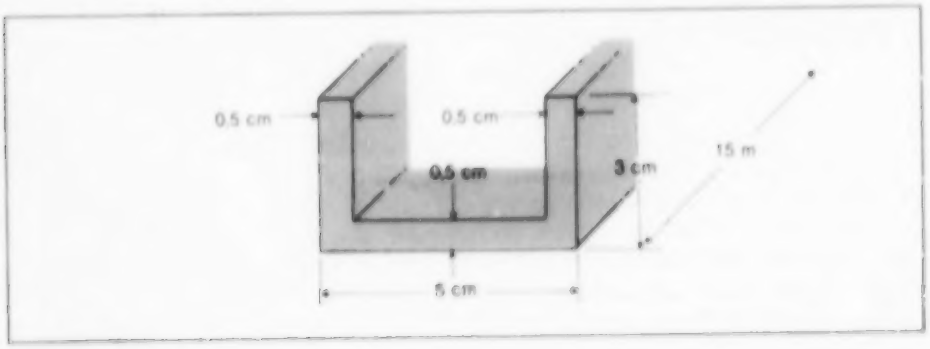


Figure 36

a) Quelle est la résistance de cette pièce ?

b) Si un courant de 200 ampères traverse cette pièce, évalue la chute de tension induite par la pièce.

6. Considérons une machine à souder par résistance. Le transformateur comprend 250 tours au primaire et une spire au secondaire. Si le primaire est alimenté par du 220 volts, quelle est la tension induite au secondaire ?

   Supposons que le circuit au secondaire présente une résistance de 0,0002 ohm. Il s'agit de la résistance de la pièce à souder, des électrodes et du fil. Évalue l'intensité du courant qui traverse la pièce.

7. Laquelle des affirmations suivantes caractérise le mieux un alliage par rapport à un métal pur ?

   a) Sa résistivité est plus élevée.

   b) Sa température est plus élevée.

   c) Sa conductivité est plus élevée.

8. Lors du soudage électrique par résistance, pourquoi les valeurs d'intensité de courant doivent-elles être très élevées ?

   a) Afin de permettre la production plus rapide des soudures.

   b) Afin de créer un échauffement brusque entre les pièces.

   c) Afin de provoquer un choc mécanique entre les pièces.

SOLUTIONS

1. Si l'on regarde vaguement le terrain, on perçoit de nombreuses balles dans les airs. Cela pourrait ressembler aux mouches qui volent dans la comparaison du module d'acquisition 1. Si tous les autres aspects concordent, on pourrait dire que la comparaison du problème est aussi valable que celle du module. Avec un peu d'attention, on découvre cependant une différence. Les mouches volent toutes seules alors que les balles sont lancées par les joueurs pour retomber ensuite. Les joueurs sont donc actifs contrairement aux atomes du métal qui ne font rien. Cette comparaison ne peut donc pas convenir pour comprendre la nature d'un métal. Dans un métal, les électrons libres sont en mouvement par eux-mêmes.

2. Dans cette comparaison, le circuit des rondelles est fermé comme dans un circuit électrique. Cela représente un point positif en faveur de la comparaison. Il y a également une source de rondelles tout comme il y a dans un circuit électrique une source de courant. Enfin, les enfants sont éparpillés sur la patinoire jouant le rôle des atomes dans un conducteur. Les rondelles sont comparées aux électrons qui circulent parmi les atomes. Le seul point qui ne convient pas se rapporte au mode de création du mouvement des rondelles. Il faudrait un moyen pour les mettre en mouvement sans l'intervention des enfants. Cela serait semblable à la tension du courant qui ne nécessite pas l'intervention des atomes. Après évaluation de cette comparaison, ton professeur pourrait donc te donner environ 4/5.

3. a) Voyons si l'on peut établir un rapprochement entre la comparaison du professeur et celle donnée au module d'acquisition 2.

COMPARAISON DE LA MACHINE À BOULES	*COMPARAISON DES BALLES DE PING-PONG ET DES CAILLOUX*
Les boules cherchent à se rendre en bas du panneau à cause de la pente.	Les balles cherchent à se rendre à droite du jeu à cause du courant d'air.
Cependant, des obstacles se présentent sur le chemin des boules.	Cependant, des cailloux se présentent sur le chemin des balles.
Les boules pourront être ralenties, déviées ou rebrousser chemin à la suite des collisions sur les obstacles.	Les balles pourront être ralenties, déviées ou rebrousser chemin à la suite des collisions avec les cailloux.
Donc la facilité à traverser le parcours dépend des chocs entre les boules et les obstacles.	Donc la facilité à traverser le parcours dépend des chocs entre les balles et les cailloux.

En conclusion, la comparaison du professeur contient tous les éléments de la comparaison du module d'acquisition 2 et est donc valable pour expliquer la résistivité électrique.

b) Si les cailloux sont plus gros, les collisions des balles avec ceux-ci seront plus fréquentes. Cela correspond à une résistivité plus élevée.

4. P = 250 watts.

5. R = 0,0186 ohm, V = 3,72 volts.

6. V = 0,88 volt, I = 4400 ampères.

7. [a]

8. [b]

ISBN 2-920859-27-7